

令和4年度博士学位論文

寒冷地小規模橋梁における代替工法としての  
大型プレキャストボックスカルバートに関する研究

八戸工業大学大学院工学研究科

博士後期課程 社会基盤工学専攻

祐川 真也



# 目次

1 章 序論 .....	1
1.1 研究背景 .....	1
2 章 地方自治体のインフラを取り巻く状況 .....	3
2.1 研究背景 .....	3
2.2 青森県内橋梁を取り巻く社会環境 .....	4
(1)人口減少について .....	4
(2)道路や橋梁の利用状況について .....	5
(3)橋梁架設年度について .....	7
(4)橋梁の老朽化について .....	9
2.3 青森県内の橋梁について .....	10
(1)橋梁数や径間数による分類 .....	10
(2)上部工形式による分類における傾向について .....	11
(3)架設年度による分類について .....	14
(4)橋梁点検項目の比較 .....	17
2.4 市町村管理道路橋の現状 .....	19
(1)資料調査 .....	19
(2)実地調査 .....	22
(3)橋梁維持管理に関するアンケート .....	28
2.5 現場打ちコンクリート構造物とプレキャスト製品の耐荷性能について .....	31
2.6 小規模橋梁の大型プレキャストボックスカルバート化における課題 .....	33
2.7 まとめ .....	34
3 章 高炉スラグを用いた高耐久コンクリートの寒冷地プレキャスト製品への適用について .....	37
3.1 研究背景 .....	37
3.2 寒冷地における凍害および塩害の発生状況 .....	39
3.2 高炉スラグに関する既往研究 .....	42
3.3 高炉スラグコンクリートの耐久性に関する検討 .....	44
(1)高炉スラグコンクリートの概要について .....	44
(2)供試体に用いた実験材料および配合 .....	45
(3)供試体寸法と養生条件について .....	45
(4)耐久性試験の試験方法について .....	48
3.4 高炉スラグコンクリートの耐久性試験結果 .....	49
(1)スケーリング試験結果 .....	49

(2)凍結融解抵抗性試験結果 .....	49
3.5 まとめ .....	51
4 章 大型プレキャスト製品の表層品質分布と耐久性分布について .....	53
4.1 研究背景 .....	53
4.2 非破壊試験について .....	54
(1)供試体に用いた実験材料と配合、供試体製造について .....	54
(2)供試体概要と養生条件について .....	55
(3)表層品質試験(表層透気試験：Torrent 法)について .....	57
(4)表層品質試験(表面吸水試験：SWAT)について .....	60
4.3 表層品質と耐久性試験の関連性について .....	72
(1)耐久性試験の概要と試験方法について .....	72
(2)スケーリング抵抗性と塩化物イオン浸透試験の耐久性試験結果 .....	72
4.4 まとめ .....	75
5 章 大型プレキャストボックスカルバートの延長連結による構造物一体性の検討 .....	77
5.1 研究背景 .....	77
5.2 載荷重試験による延長方向の一体性の実験概要 .....	81
(1)供試体概要について .....	81
(2)載荷試験方法 .....	81
(3)PC 緊張力と最大荷重の関係と考察 .....	83
(4)PC 緊張力の影響について .....	89
5.3 構造解析ソフトを用いた応力状態の確認 .....	91
(1)供試体概要 .....	91
(2)解析方法 .....	91
5.4 まとめ .....	95
6 章 LCC 比較と今後のインフラメンテナンスへの提言 .....	97
6.1 LCC 比較と LCCO <sub>2</sub> 比較 .....	97
(1)LCC および LCCO <sub>2</sub> 条件設定 .....	97
(2)LCC 比較結果および LCCO <sub>2</sub> 比較結果 .....	101
6.2 提言 .....	106
7 章 総括 .....	109
補遺 .....	113
謝辞 .....	124

# 1 章 序論

## 1.1 研究背景

日本におけるインフラメンテナンスは、1950 年代から 1970 年代にかけての高度経済成長期に多くの構造物が建設されてきた。一般的に橋梁の寿命は約 50 年と言われており、現在は建設後 50 年を経過する構造物が増加し続けている。そのため、橋梁やトンネルをはじめとする道路インフラは昨今、補修や補強などの長寿命化が望まれており、これから建設される構造物については、LCC の低減や SDGs に貢献できるよう持続可能な開発が求められる。

しかしながら、我が国は人口減少によって技術者・技能者の減少だけでなく、建設コストの縮小も求められている。

特に、青森県のような積雪寒冷地域という非常に厳しい条件も付随し、地方自治体におけるインフラメンテナンスは非常に難しい状況にある。

そこで、本研究では青森県の橋梁を中心にデータ整理を行い、インフラメンテナンスを担当する実務者からの意見をまとめた。そこでは、小規模な橋梁であっても、橋梁である場合、点検や維持管理が煩雑になってしまう点や人口減少によって、現場の技術者や技能者不足が深刻であり、小規模な橋梁の代替工法としてボックスカルバート、技術者・技能者不足に対してプレキャスト製品の活用が望まれていること。さらに、積雪寒冷地域が故の耐久性が必要とされているといった意見が出された。

そこでプレキャスト製品を活用するにあたり、材料面、品質面、構造面の視点から、小規模橋梁代替工法のプレキャストボックスカルバートについて懸念される事項について検討を行った。本研究の構成とフローを図 1 に表す。

1 章は本章であり、序論として本論文の研究背景をはじめ、概要および全体の論文構成や関連性を述べる。

2 章では、地方自治体のインフラを取り巻く状況とプレキャスト製品の有用性と課題について述べる。

3 章では、プレキャストボックスカルバートの耐久性について材料面から検討した結果について述べる。

4 章では、大型プレキャスト製品の表層品質分布について品質管理面から検討した結果について述べる。

5 章では大型プレキャストボックスカルバートの延長 PC 連結について施工面から検討した結果について述べる。

6 章では、現場打ボックスカルバートとプレキャストボックスカルバートの LCC 比較および LCCO<sub>2</sub> の比較検討を行った結果について述べる。

7 章では本研究の総括を述べる。

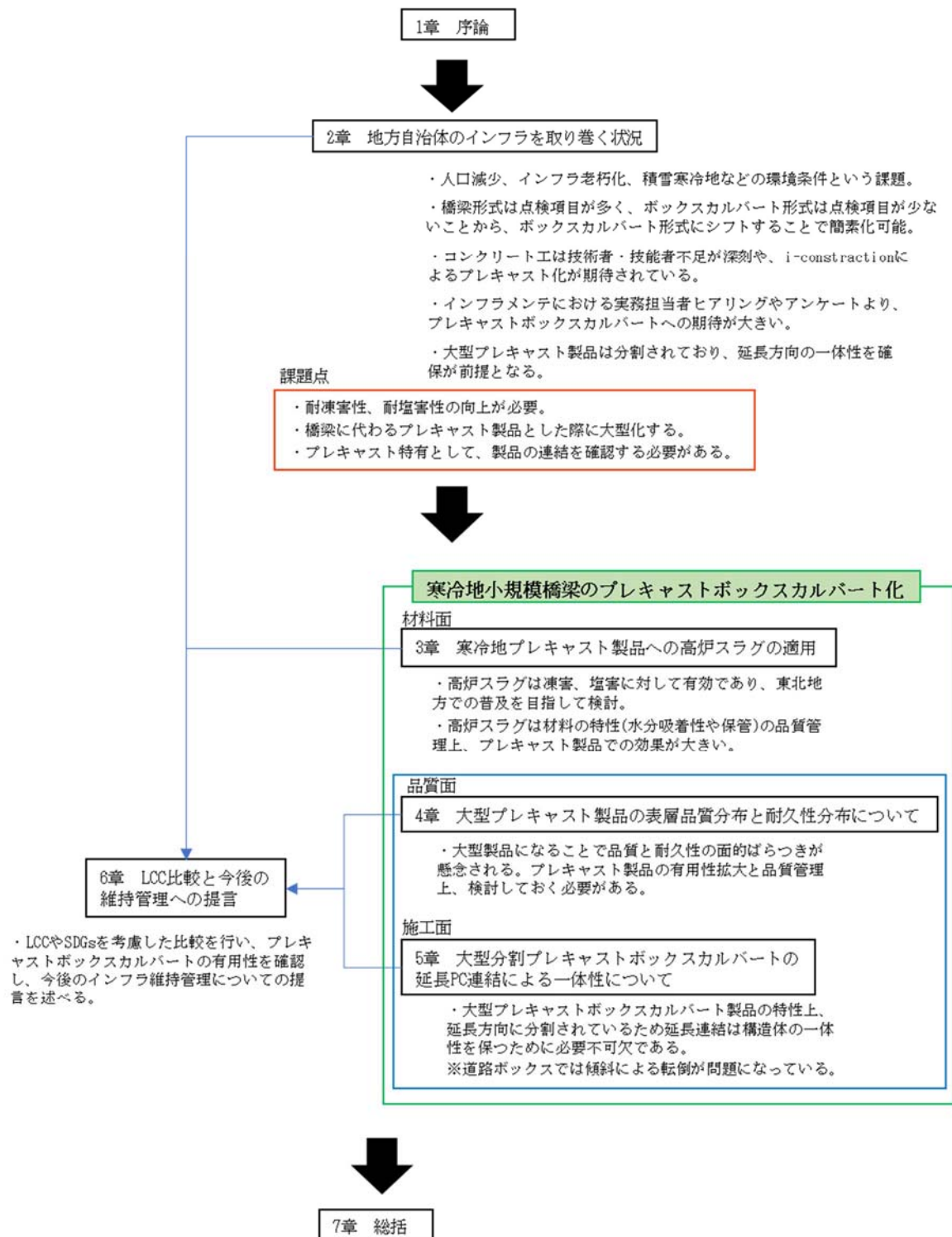


図1 論文構成と研究フロー

## 2 章 地方自治体のインフラを取り巻く状況

### 2.1 研究背景

橋梁やトンネルなどのインフラ老朽化が大きな課題となっている。日本では、2012 年に中央道笹子トンネルで天井板が落下し多くの人命を失う事故が起きている。また、老朽化に伴って、地方公共団体管理橋梁では、通行止めや重量規制などの通行規制が実施されている橋梁が増加している。

道路は、くらしや産業にとって重要な社会基盤である。通勤、通学、通院、あるいは買い物などのくらしや、様々な産業活動が適切に行われるためにも、また医療、福祉、そして防災にもなくてはならない社会基盤である。道路は、道路のもつ役割、例えば全国の主要都市を結ぶ幹線道路のような広域交通を担う道路、あるいは市町村内の地域のくらしを担う道路などによって区分され、国、都道府県、市町村、あるいは道路会社などが管理している。

国土交通省によると「全国約 72 万橋の橋梁のうち、7 割以上となる約 51 万橋が市町村道」で、道路橋の多くを市町村が管理する立場にあることが示されている<sup>1)</sup>。市町村の管理する橋梁は、主に当該市町村内交通のために整備されており、広域交通を担う国や都道府県の管理する橋梁に比べ、小規模と推定されるが、橋梁数が多いことは行政規模を考えると管理業務の負担が大きいことが推測される。

その中で、橋梁の老朽化は重い課題となっている。海外での老朽化橋梁事故や、日本の笹子トンネル事故などを経緯に、国は 2014 年以降、橋梁の維持管理について、長寿命化計画策定を推進し、5 年毎の点検活動などが実施されてきている<sup>2)</sup>。また、劣化が進んで架け替えを行う事後保全と呼ばれる維持管理の考え方から、点検を行って適宜修繕を進めていく予防保全への考え方が取り入れられてきている<sup>3)</sup>。

青森県はこのような維持管理の考え方を全国に先駆けて実施してきている<sup>4)</sup>が、市町村が抱える多くの老朽化する橋梁は、全国でも厳しい人口減少社会で受け止めていかなければならない。また、積雪寒冷地であることから、凍害や融雪剤散布等による塩害が深刻であり、多方面からの検討が必要とされる。

また、地方における人口減少、特に生産年齢人口と呼ばれる 15 歳から 64 歳の人口の割合が年々減少し続けており<sup>5)</sup>、現在のインフラメンテナンスにおける技術者不足・技能者不足に対して、今後はより厳しい状況に陥ることが予想される。一般に、市町村管理橋梁の老朽化は、技術者不足と財源不足で厳しい状況にあると言われているが、自治体におけるインフラは、先に述べたように生活に密接に関係しており、安易に集約化やトリアージを行えるものではない。本研究では、地方自治体における今後のインフラ維持管理の方向性について、青森県を例として検討した。その中でも小規模な橋梁に対してボックスカルバート、さらに言えば、国土交通

省が推進する i-construction(生産性向上)に則ったプレキャスト製品の有効性について、材料面、品質面および施工面の観点より検討を行った。

## 2.2 青森県内橋梁を取り巻く社会環境

### (1)人口減少について

社会環境の変化として、ここでは人口を取り上げる。橋梁がくらしや産業のために整備されていることから、その受益者の人口がどのように変化しているか調査した。人口は受益者の人口でもあり、橋梁に関わる技術者の数にも反映される。

図1に、青森県の人口推移と将来人口を描く<sup>6)</sup>。総人口は、ほぼ16,200人/年の勾配で直線的に減少し、2015年を100とすると、2020年で94.5%、2030年で82.3%、2040年で69.5%と減少する。2035年には100万人を切る予測がなされている。このとき、全国の総人口は99.3%(2020年)、93.7%(2030年)、83.7%(2040年)と減少する。全国の人口減少率と比べると青森県の人口減少率は大きい。

図2には、図1において年齢別に分けた3区分の人口のうち、生産年齢人口と呼ばれる15歳から64歳の人口変化を、2015年を100として全国と青森県を比較している。橋梁に関わることができる技術者は、この生産年齢人口を中心とした数と考え、また総人口に対する橋梁技術者の人口比が一定であるとすれば、この人口減少は、橋梁技術者数の減少と結びつくと考えられる。図に示されているように、全国の減少傾向に比べて、青森県の減少傾向が厳しいことがわかる。2045年には、2015年の人口に対し全国では65.9%、青森県では48.5%と推定されている。

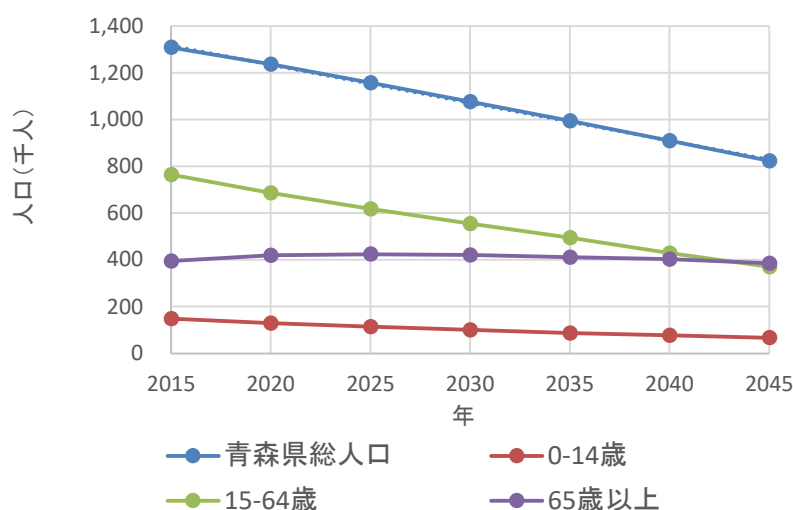


図1 青森県の人口推移と将来人口



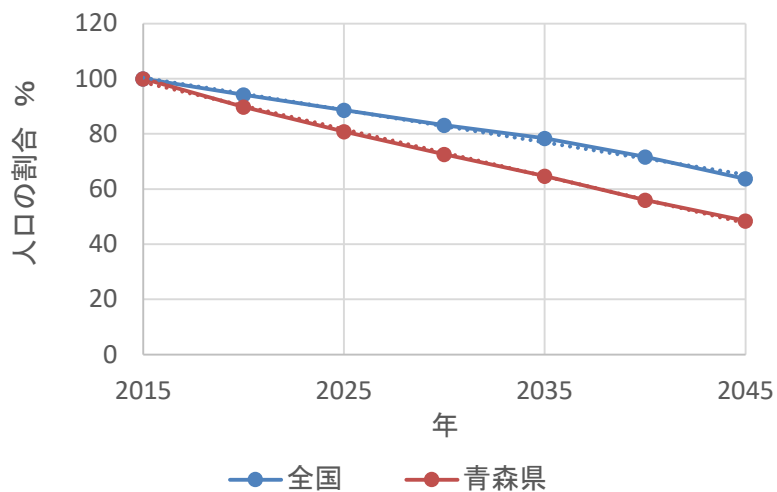


図2 生産年齢人口(15-64歳)の推移と将来人口  
(2015年を100として)

## (2)道路や橋梁の利用状況について

人の移動に使用されている交通手段について述べる。国勢調査(平成22年:2010年)<sup>7)</sup>から得られた利用交通手段別15歳以上自宅外就業者・通学者の割合のうち全国と青森県の数値を図3に示す。全国では自家用車46.5%、鉄道・電車16.1%、オートバイ又は自転車14.6%、利用交通手段が2種類以上11.4%、徒歩だけ7.1%の順となっている。青森県の場合、鉄道・電車の利用者は全体の1.5%にすぎず、全国の都道府県の中でも沖縄県、宮崎県、島根県について4番目に低い利用状況となっている。これらの県では自家用車の利用が多く、青森県の割合は69.0%と大きく道路への依存が高い。距離の重み付けをした旅客輸送人キロ(2019年)<sup>8)</sup>では、鉄道73.1%、航空15.9%、自動車11.0%となっている。移動距離が長い場合に使用される交通機関が反映した数値となっているが、この旅客には自家用車の利用が入っていない。

貨物輸送での利用を、全国の鉄道、海運、自動車による貨物輸送量(トン数:2019年)<sup>8)</sup>にみると、自動車による貨物輸送は89.1%を占めている。距離の重み付けをした貨物輸送トンキロでは、自動車52.9%、内航海運42.0%、鉄道4.9%等となっており、輸送距離を考慮しても大半の貨物の輸送は自動車によっている。

このような状況から道路の重要性は高く、道路の一部となる橋梁は重要なインフラと言える。落橋が発生すると、仮設橋梁を運搬し設置するなどに対応しているケースがあるが、2021年の豪雨では、青森県むつ市の国道279号線に設置されていた小赤川橋が流出し、下北半島で暮らす一部住民が、仮設橋梁が完成するまで約1週間にわたって孤立する事態となった<sup>9)</sup>。仮設橋梁が整備できたものの、その間の地域住民のくらしや産業に与える影響は大きい。

近年発生している大規模災害時の避難、救援、復旧、復興の際の道路の重要性に対する認識は、被害にあった市民だけでなく、災害復旧に関わった多くの市民が受け止めている。

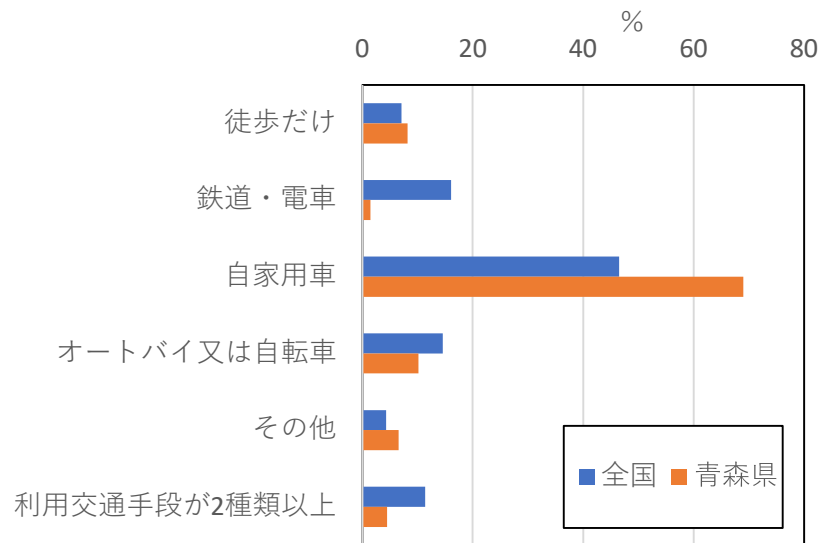
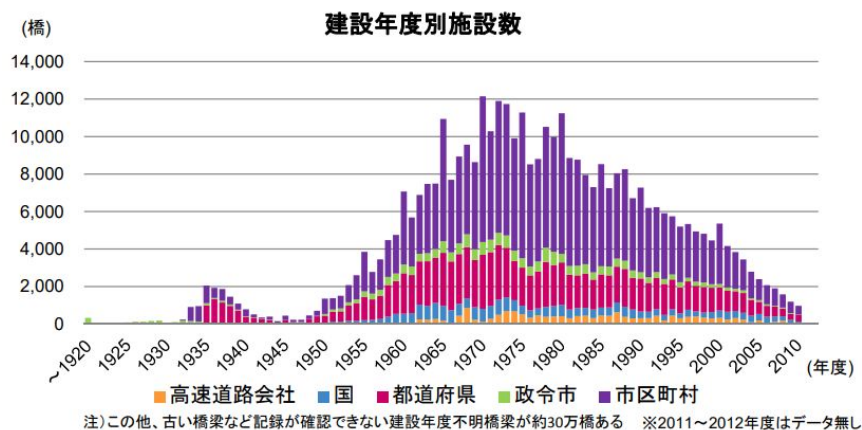


図3 通勤・通学時の利用交通手段  
(利用交通手段別 15 歳以上自宅外就業者・通学者の割合(%))

今後、気候変動にともなう気象、地震、津波、洪水、噴火など不確実性の高い現象が懸念され、道路整備の重要性とともに橋梁の重要性は高くなっている。



※国土交通省 HP より <sup>10)</sup>

図 4 全国の橋梁数と架設年度

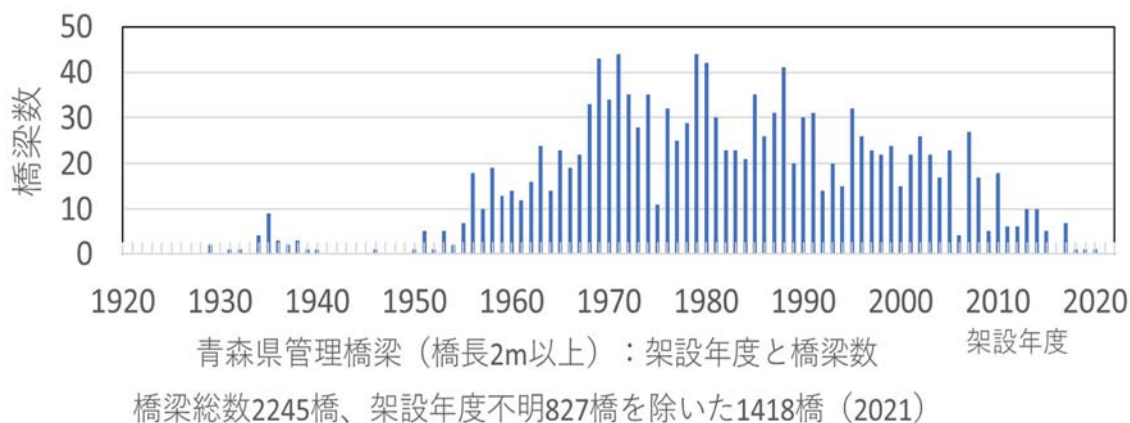


図 5 青森県内橋梁の橋梁数と架設年度

### (3) 橋梁架設年度について

全国と青森県の橋梁数と架設年度を表したグラフを図 4、図 5 に表す。

全国的には第 2 次世界大戦終了の 1945 年から架設された橋梁数が増加し、1970 年から 1975 年頃に建設のピークが見られる(図 4)。管理者別でみると、市町村管理の橋梁が多くを占めていることがわかる。国土交通省によると「全国約 72 万橋の橋梁のうち、7 割以上となる約 51 万橋が市町村道」となっている <sup>1)</sup>。

次に青森県が管理する橋長 2m 以上の 2245 橋梁(2021 年度)のうち架設年度が不明となっている 827 橋(36.8%)を除いた 1418 橋の、架設年度と橋梁数を見してみる(図 5)と、最も古い橋梁は 1929 年度架橋の 2 橋で、最新は 2020 年度の 1 橋となっている。1 年間で最も多い橋梁が架設された年度は、1971 年度と 1979 年度の 44 橋で、1969 年の 43 橋が 3 位となっている。第 2 次世界大戦以降から建設が多くなり、70 年代に建設ピークがあることは、全国の建設状況と同様な傾向にある。

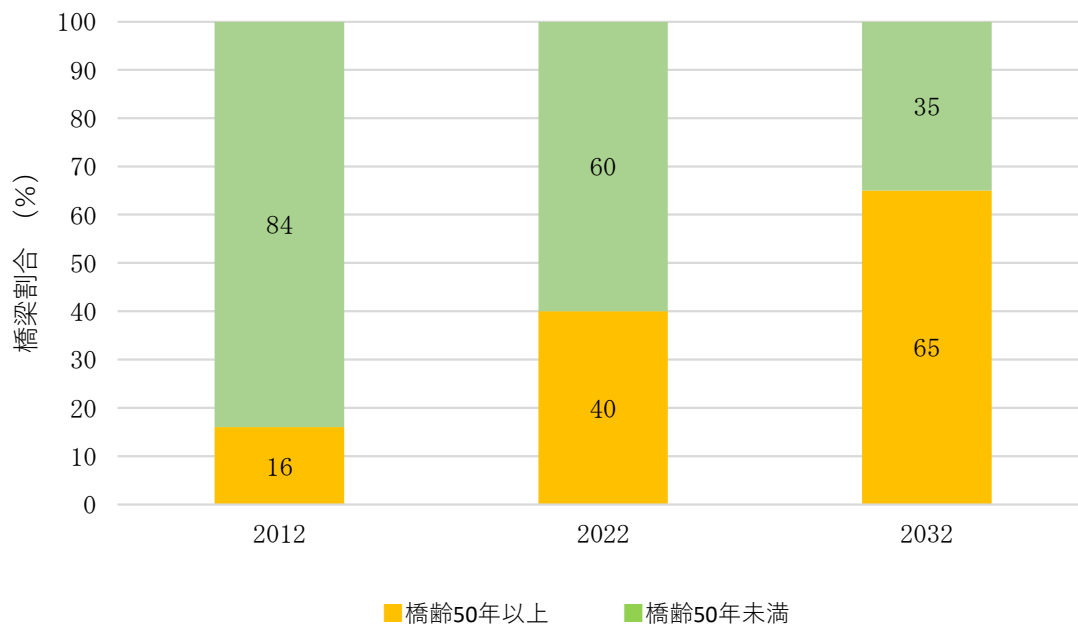


図 6 全国の道路橋：橋齢 50 年以上の割合

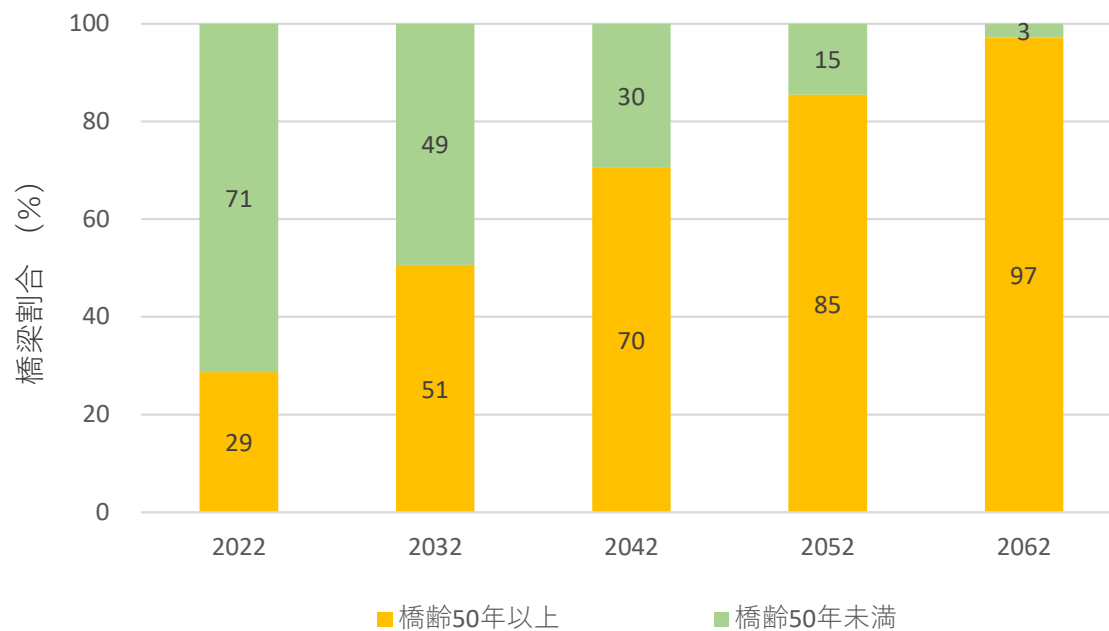


図 7 青森県管理橋梁の橋齢 50 年以上の割合

#### (4)橋梁の老朽化について

図 6 および図 7 に全国の道路橋と青森県が管理する橋齢 50 年以上の割合を表す。この老朽化に伴って、重量規制、車線規制などの通行規制が実施されている橋梁が増加している。5 年ごとの定期点検による橋梁毎の健全性評価は、4 区分(I：健全、Ⅱ：予防保全段階、Ⅲ：早期措置段階、Ⅳ：緊急措置段階)により判定されており、2016 年から 2020 年の 5 年間で実施された定期点検によると、点検された全国の 705,927 橋、そのうち青森県に所在する橋梁 6,948 橋の判定区分を表 1 に示す<sup>11)</sup>。全国と青森県で、ほぼ同様の状況にある。判定区分Ⅳ「構造物の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態」と健全性を診断された橋梁は、全国で 569 橋、このうち青森県に所在する橋梁は 10 橋であった。

表 1 橋梁毎の健全性判定区分(%)  
(2016 年から 2020 年の 5 年間で実施)

	I	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
全国	42.2	49.2	8.6	0.1
青森県	41.5	48.7	9.7	0.1

判定区分ⅢおよびⅣの橋梁は 5 年以内に措置を講ずることとしているが、5 年以上前に判定区分Ⅲ・Ⅳと診断された橋梁の着手した割合は、橋梁管理機関別に、国土交通省 83%、高速道路会社 66%、および地方公共団体 55%、また完了率は、国土交通省 42%、高速道路会社 45%、および地方公共団体 35%と報告されており<sup>12)</sup>(いずれも 2021 年 3 月末で)、地方公共団体が管理する橋梁の措置着手および完了の割合が少ない。市区町村でみると、着手 48%、完了 32%で、地方公共団体の中でも都道府県管理橋梁に比べ市区町村管理橋梁の措置が遅れている。

## 2.3 青森県内の橋梁について

### (1)橋梁数や径間数による分類

青森県内では橋長 2m以上の橋梁が 2,245 橋ある。青森県庁より橋梁点検データの提供を受け、架設年度や上部工形式、橋長や径間数において分類を行った。

表-1 橋長と径間数および平均支間長

	橋長(m)	径間数	平均支間長(m)
合計	65250.6	3425	30585.8
平均	29.06 <sup>※1</sup>	1.53 <sup>※2</sup>	13.6 <sup>※3</sup>

※1 平均橋長＝総延長距離/橋梁数＝65,250.6/2245

※2 平均径間数＝総径間数/橋梁数＝3,425/2,245

※3 平均支間長＝個々の橋梁の平均径間の総計/橋梁数＝30585.8/2245(これは、平均橋長/平均径間数ではない)

表 1 に橋長、径間数および平均支間長の合計と平均値を示す。総延長は約 65 kmであり、平均橋長は 29.06m、平均径間数は 1.53 である。この平均径間数は数値上、ほとんどが 1 径間で構成されているであろうと考えられる。

(2)上部工形式による分類における傾向について

次に表 2 に上部工形式についての分類を示す。

表 2 上部工形式の分類について

大分類	上部工形式細分類
床版橋(S)	③ R C 橋_ R C 床版橋(その他)
	③ 〃 _ R C 中空床版
	④ P C 橋_ P C 床版橋(その他)
桁橋(G)	① 鋼橋(ボルト又は鋼溶継手)_ H 形鋼(合成)
	① 〃 _ I 桁(鋼床版)
	① 〃 _ 鋼桁橋(その他)
	① 〃 _ 箱桁(合成、非合成)
	③ R C 橋_ R C T 桁、その他 R C 桁
	④ P C 橋_ P C 桁橋(その他)
	④ 〃 橋_ プレテン箱桁
	④ 〃 橋_ ポステン T 桁
トラス・アーチ・ ラーメン・斜張橋 (T)	⑧ H 型鋼橋(継手なし)_ H 形鋼(不明)
	① 鋼橋(ボルト又は鋼溶継手)_ アーチ橋
	① 〃 _ トラス橋
	① 〃 _ ラーメン橋
	③ R C 橋_ アーチ橋
	③ R C 橋_ ラーメン橋
	④ P C 橋_ ラーメン橋
ボックス カルバート(B)	④ P C 橋_ 箱桁(斜張橋)
	③ R C 橋_ R C 溝橋( B O X カルバート)
	④ P C 橋_ P C 溝橋( B O X カルバート)

それぞれの上部工形式を床版橋、桁橋、トラス・アーチ・ラーメン・斜張橋およびボックスカルバートの 4 形式に分類する。

表 3 上部工形式ごとの橋梁数や橋長、平均支間長について

	橋梁数	橋梁数 (%) ※1	平均橋長 (m) ※2	平均支間長m ※3	平均 径間数
ボックスカルバート	498	22.3	3.80	3.67	1.04
床版橋	695	31.1	8.44	7.39	1.08
桁橋	993	44.5	52.21	21.47	2.02
トラス・アーチ・ラ ーメン・斜張	47	2.1	95.05	39.77	2.30

※1 橋梁数%：各分類に該当する橋の数を 2233 で除し、%で示した。

※2 平均橋長(m)：各分類に該当する橋梁の橋長の単純平均値

※3 平均支間長(m)：それぞれの橋梁の橋長を支間数で除した数値の平均値

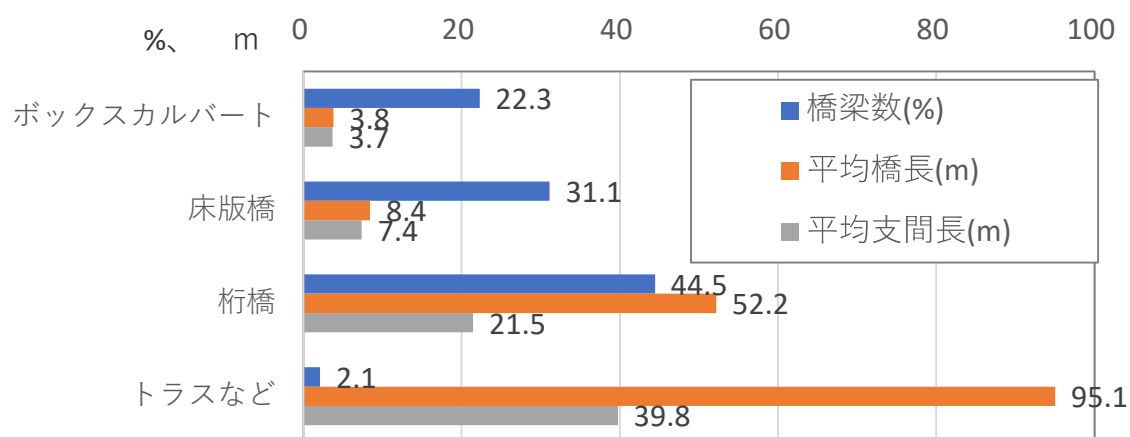


図 8 上部工形式の橋梁割合、平均橋長および平均支間長

表 3 に上部工形式ごとの橋梁割合、平均橋長および平均支間長橋梁数を示し図 8 にグラフ化したものを表す。これを見ると、最も多いのは桁橋で全体の 44.5%である。床版橋の 31.1%、ボックスカルバートの 22.3%と続き、最も少ないのはトラス・アーチ・ラーメン・斜張橋の 2.1%である。平均橋長と平均支間長も同順である。

平均径間数に着目すると、ボックスカルバートと床版橋では 1.04 および 1.08 となっているが、桁橋とトラス・アーチ・ラーメン・斜張橋では 2.02 と 2.30 となり、大幅に平均径間数が増えていることが分かる。平均橋長、平均支間長および平均径間数の差から、ボックスカルバ



ートと床版橋については比較的、小規模な橋梁形式であることが確認された。反対に桁橋とトラス・アーチ・ラーメン・斜張橋は比較的、中規模および大規模な橋梁形式で採用されていることが読み取れる。

表 4 上部工形式ごとの最大、最小および平均支間長

	ボックスカルバート	床版橋	桁橋	トラス・アーチ・ラーメン・斜張橋
最大(m)	14	42.2	77	120
最小(m)	1.5	1.5	2	2
平均(m)	3.67	7.39	21.47	39.77

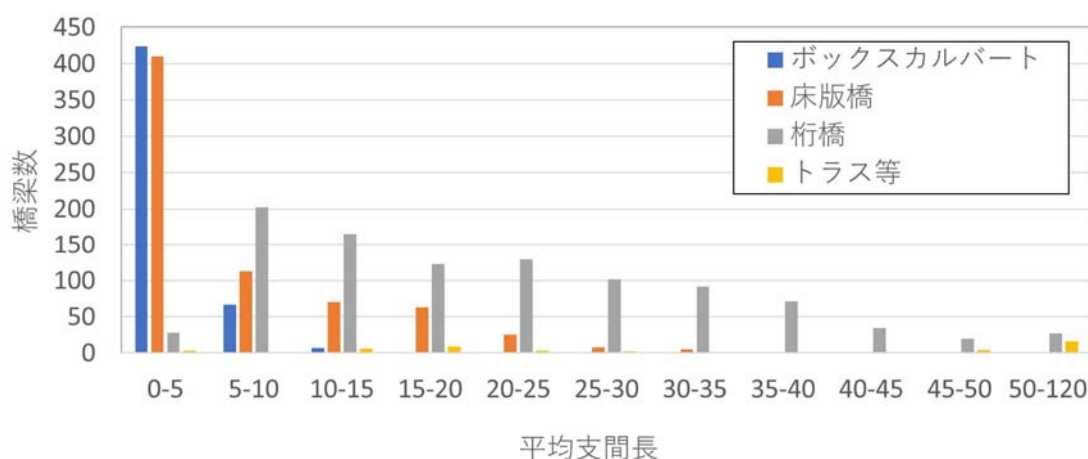


図 9 上部工形式ごとの最大、最小および平均支間長の橋梁数

次に上部工で分類した 4 形式について最大支間長、最小支間長および平均支間長の比較を表 4 および図 9 に示す。各上部工形式の最大支間長はカルバート(RC ボックスカルバート)で最大 14m、床版橋(PC 橋\_ポステン中空床版形式)で 42.2m、桁橋(鋼橋と箱桁形式)で 77m、そのほかの形式ではアーチ橋の 120m が最大で、上部工の形式により最大支間長の最大は異なるが、対して最小支間長は、どの上部工形式についても概ね 1.5m～2.0m であった。よって、平均支間長はボックスカルバート<床版橋<桁橋<その他の上部工形式となる。

これは設置される条件、つまり橋梁として対岸までの距離や桁下の高さ等の条件により構造形式の選定を行っているものと考えられる。

また、平均支間長の分布をみるとボックスカルバートではほとんどが 5m 未満であり、10m 未満でおよそ 98% を占めている。床版橋については、ボックスカルバートと同様、5m 未満も

多いが、10m 以上も多くあり、傾向としては異なっている。反対に桁橋は 10m 以上から多くなっており、その他の構造形式については全数に対しての割合は少ないが 50m 以上で多くなっている。

### (3)架設年度による分類について

次に上部工の分類ごとの架設年代による分類を行った結果を図 10、図 11 および図 12 に示す。

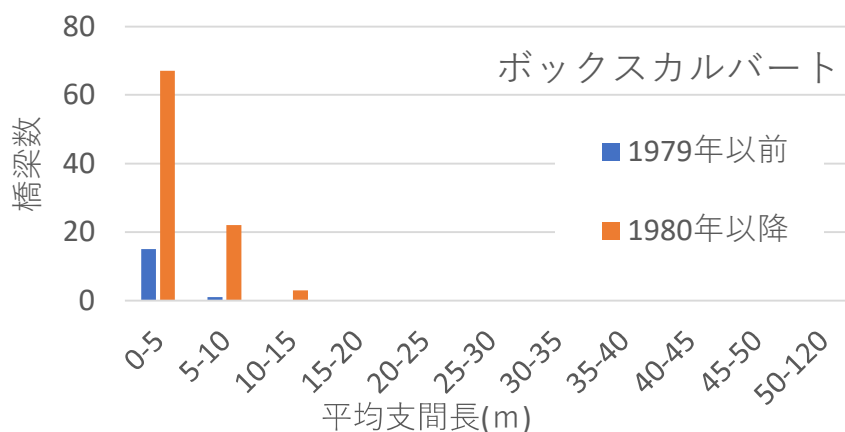


図 10 カルバート形式の橋梁数と架設年代

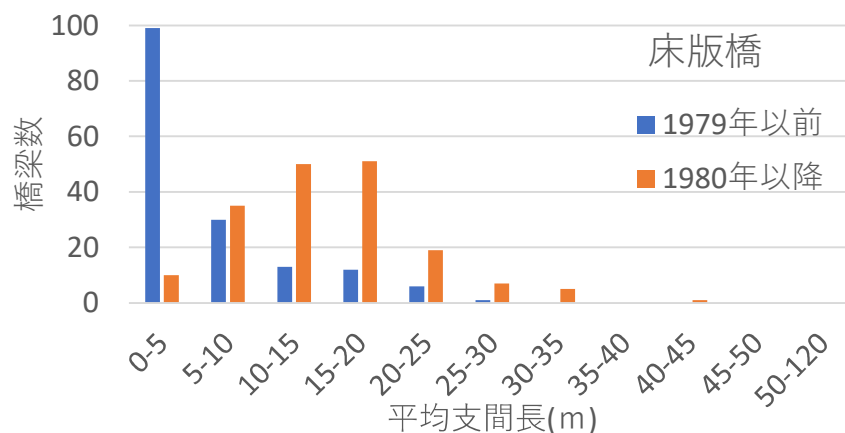


図 11 床版橋形式の橋梁数と架設年代

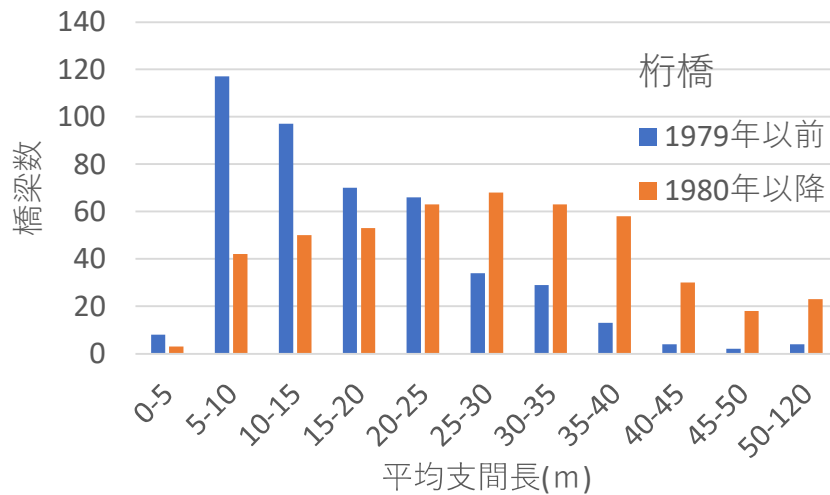


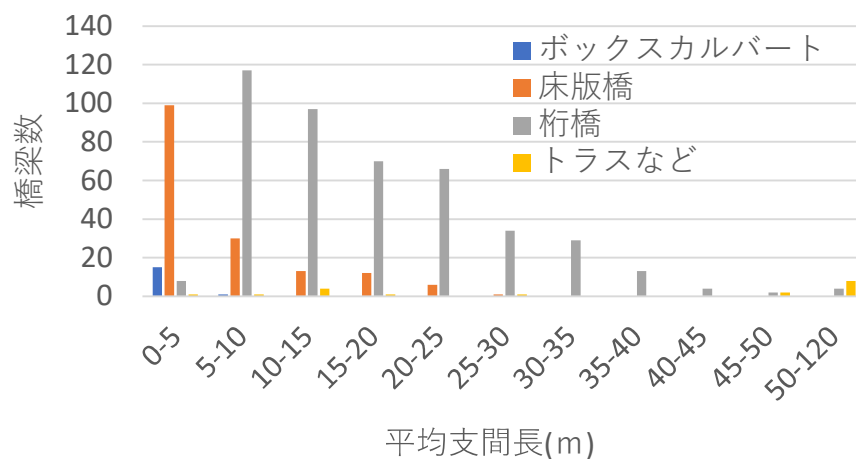
図 12 桁橋形式の橋梁数と架設年代

参照した青森県内管理橋梁データより架設年度不明 827 と形式不明 12 を除いた 1406 橋を対象としたものであり、架設年度がピークである 1970 年代を挟んで、1979 年以前と、1980 年以降の橋梁に区分して比較した。それぞれの橋梁数は、1979 年以前は全 639 橋、1980 年以降は全 767 橋である。

ボックスカルバートについて、1979 年以前は支間長が約 5m 以下に利用されていたが、1980 年以降は 10m 程度まで拡大している。

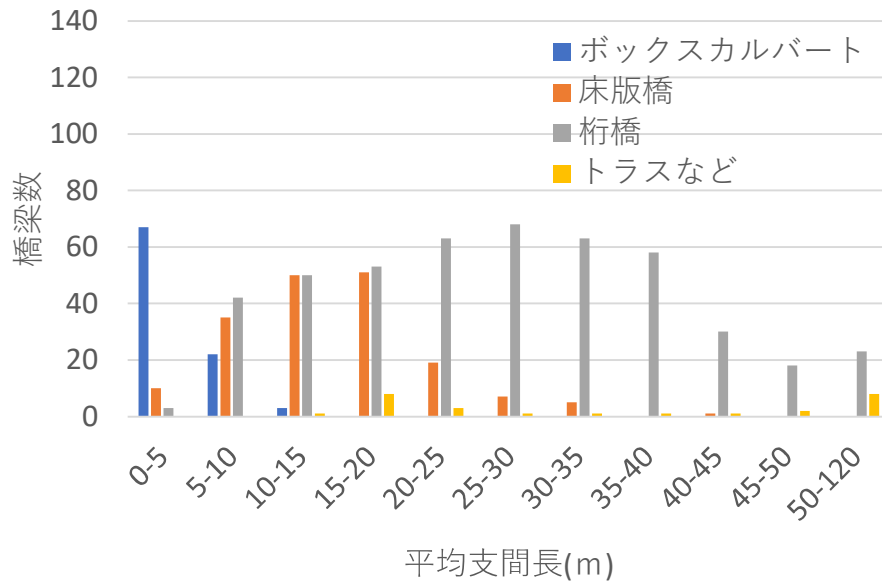
床版橋については 1979 年以前、支間長 5m 以下の利用が多かったが、1980 年以降は 15m 程度を中心に利用範囲が広がっている。

桁橋について、1979 以前は 5-10m をピークとして支間長が長くなると利用は低下しているが、1980 年以降は、30m 程度を中心に広範囲の利用が見られる。



1979年までに架設された橋梁 639橋

図 13 1979 年までに架設された橋梁の平均支間長



### 1980年から架設された橋梁 767橋

図 14 1980 年以降に架設された橋梁の平均支間長

架設年代で区分した平均支間長と分類を図 13、図 14 に示すと、1979 年までは、ボックスカルバートの利用がほぼ 5m までに限定されていたが、1980 年以降は 10m を超える橋にも利用されている。

床版橋は、1979 年までは 5m 未満で最も多く利用されていたが、1980 年からは 10-20m の利用が最も多い。

桁橋でも最も多く利用されている平均支間長は、5-10m から 25-30m に移動している。

また、ボックスカルバート、床版橋、および桁橋では、1980 年以降の平均支間長の範囲が、1979 年以前に比べて広い。それぞれの形式の適用範囲が広がっている。

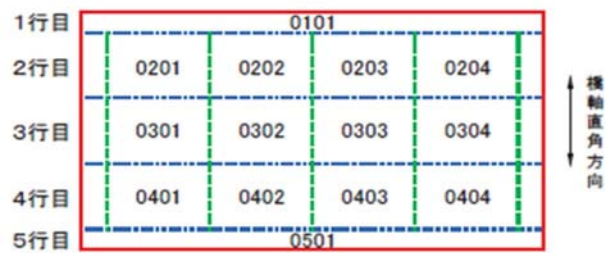
0-5m での利用を見ると、1979 年までは床版橋が多く利用されているが、1980 年以降はカルバートに置き換わっていることがわかる。短支間では、ボックスカルバートの活用が進んでいる。

いずれの変化も、材料や構造に関する技術向上や社会要請が大きな要因となっている推測されるが、これを利用するための技術者の技術力向上も背景にあると考えられる。

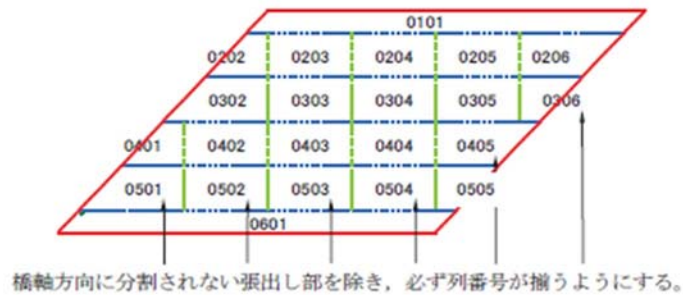
#### (4)橋梁点検項目の比較

道路橋の維持管理を行う上で準拠する指針によると、橋梁の構造形式によって点検を行う部位や部材について規定している。この点検要領については、各地方自治体で個別に制定している場合もあるが、多くの自治体で参照されている国土交通省で定めている橋梁定期点検要領<sup>13)</sup>によると、床版橋では床版部や支承部部分のアンカー類など約 8 部材、桁橋では主桁や橋台、橋脚を含め約 25 部材、トラス構造やアーチ橋では主桁・ゲルバー部・横桁・縦桁など 30 部材以上など多くの点検部材が定められ、さらに、鋼材やコンクリートでも分別されている。一方で、ボックスカルバート形式では頂版、両側壁、底版の計 4 部材(プレキャスト製品の場合、延長方向に分割されている場合は、延長部材数)に規定されており、点検項目数において比較すると、支承部がある構造ではコンクリートのひび割れや剥離のほかには異常音や異常変形など 15 項目、ボックスカルバート形式はひび割れや剥離、鉄筋の状態など約 5 項目とボックスカルバート形式の方が、圧倒的に少ない。点検項目数が少ないということは、実際の点検の際において点検時間を少なくでき、ボックスカルバート形式ではその他の橋梁形式に比較し、簡易に確認でき、橋梁点検技術者に依頼せずに、日常の点検程度であれば市町村職員でも行えるというメリットもある。参考に図 15 に床版橋の上部工部材点検番号例、図 16 にボックスカルバートの部材点検番号例を示す。今後の維持管理の効率化を図る上で、道路橋におけるボックスカルバート形式の比率を上げ、小規模な床版橋や桁橋からボックスカルバート形式にシフトしていくことが必要である。

a) 標準例



b) 斜橋の例



c) 縦桁とブラケットがある例

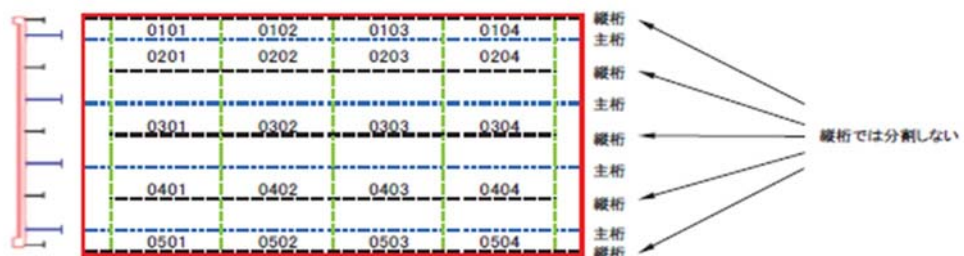


図 15 桁橋の点検部材例

・溝橋（ボックスカルバート）

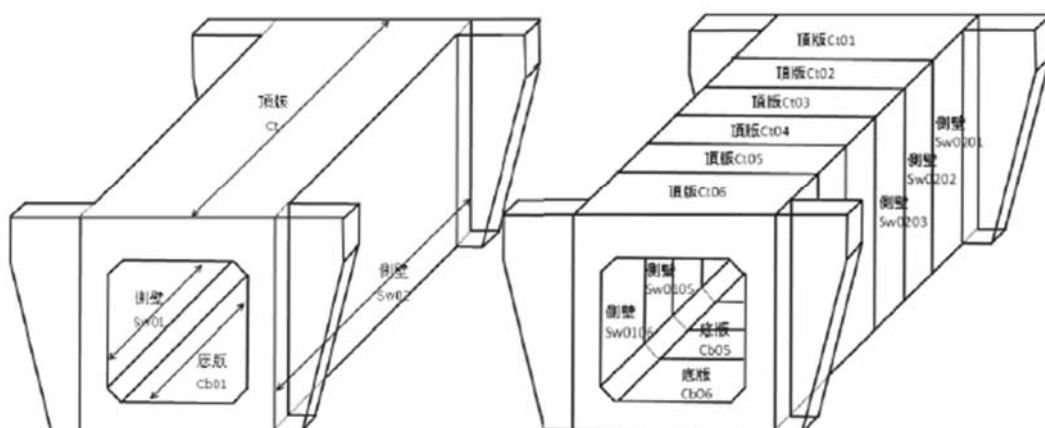


図 16 ボックスカルバートの点検部材例

## 2.4 市町村管理道路橋の現状

### (1)資料調査

市町村管理橋梁の状況を、それぞれの自治体のホームページ掲載資料<sup>14)</sup>を活用して調査した。調査対象は、近隣地域の1市5町(八戸市、三戸町、五戸町、田子町、南部町、および階上町)とした。

#### 1)橋齢について

図17に、調査した1市5町が管理している橋梁数を橋齢別に示した。橋梁数が最も多いのは八戸市の320橋梁、最小は階上町の42橋梁である。地域の規模、河川等の状況によって、橋梁数が異なっている。この図から次のようなことが言える。

八戸市では、既述したように最も橋梁数が多いが、橋齢で見ると11-20年と31-40年に2極化している。

五戸町と三戸町は、41-50年の橋梁が多いことから、多の地域に比べて高齢化が早い。特に、五戸町の40年を超える橋梁が56%(39橋)となっている。田子町では31-40年の橋齢の橋梁が多い。階上町の橋梁の橋齢は平均化している。

地域によって橋齢構成が異なっており、維持管理においては地域の特性を理解して計画・実施される必要がある。

なお、建設年が不明とされている橋梁があり、八戸市では58%(185橋)の建設年が不明となっている。一方で、田子町と階上町では建設年が不明とされている橋梁はない。老朽化している橋梁には、建設当時の資料が残されていない課題もある。

#### 2)橋長について

図18に各市町が管理する橋梁の橋長と橋梁数を示す。各市町とも2m以上で11m未満の短い橋長の橋が多いことがわかる。調査された6市町全体では、58.6%で半数を超える。八戸市では、全橋梁320のうち、2-11mの橋梁が183橋(57.2%)で最も多いが、31m以上の橋梁が85橋(26.6%)と橋長の長い橋も多い。都市の面積、人口、あるいは地形などが影響していると考えられる。

#### 3)幅員について

図19に各市町が管理する橋梁の幅員と橋梁数を示す。三戸町では5m未満の橋梁が最も多いが、そのほかの市町では5m以上で10m未満の幅員を有する橋梁数が最も多い。6市町全体では、5m未満橋梁が31.5%、5-10m橋梁が53.4%を占め、10m未満の幅員を持つ橋梁は、全体の84.9%となっている。幅員が5m未満であれば、大型車両がすれ違うことは難しい。このような橋梁は、山間部や人口が極めて少ない集落において、交通量が少ない地区で使用される場合が多く、交通量の多い地区では、改善が必要となる。

#### 4)人口あたりの橋梁数・橋梁面積について

各市町が管理する橋梁を、その地域で暮らしている人口で比較した。表 5 には、各市町の人口(A、2021 年)、当該市町が管理している橋梁数(B)、橋梁面積(C、各橋梁の橋長に幅員を架けた面積の総計、単位はm<sup>2</sup>、1 橋梁あたりの人口(A/B)、単位橋梁面積あたりの人口(A/C)を示した。

1 橋梁あたりの人口(A/B)では、人口が最も大きい八戸市が最も大きく、人口が最も少ない田子町が最も小さい値となっている。平均的に、八戸市では 1 橋梁を 702 人が支え、田子町では 1 橋梁を 61 人が支えていると考えられる。また、利用を考えてみると、通過交通もあるものの、八戸市では田子町に比べ、それぞれの橋梁を多くの住民が利用していると言える。

橋長と幅員を掛けた橋梁面積でとらえてみても、同様なことが言える。人口が少ない地域の橋梁管理は厳しく、人口減少の加速によって橋梁の維持管理環境はさらに厳しい状況が推測される。

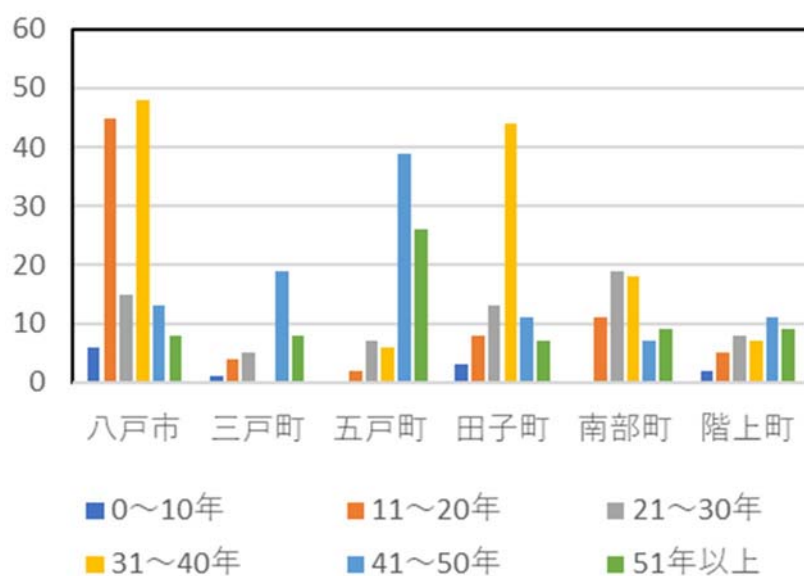


図 17 八戸市および近隣 5 町が管理する橋梁の橋齢

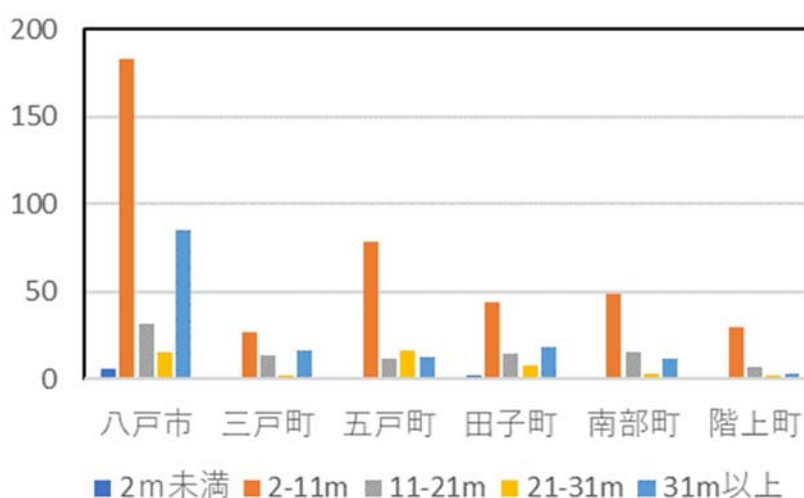


図 18 八戸市および近隣 5 町が管理する橋梁の橋長



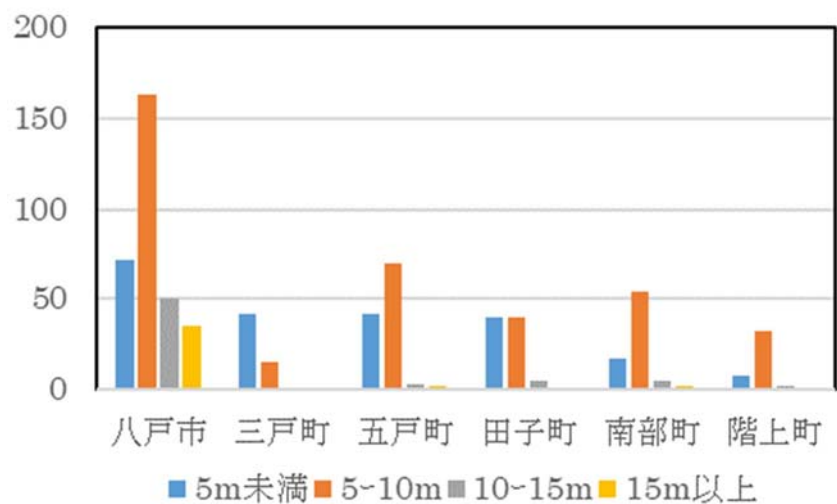


図 19 八戸市および近隣 5 町が管理する橋梁の幅員

表 5 各市町の人口、橋梁数、橋梁面積、1 橋梁あたりの人口  
および単位橋梁面積あたりの人口  
(橋梁面積は、橋長×幅員とした)

	人口 (A)	橋梁 数 B)	橋梁面 積 $m^2$ (C)	A/B	A/C
八戸市	223,415	320	82,423	698.2	2.711
三戸町	9,082	58	10,014	156.6	0.907
五戸町	16,042	117	10,042	137.1	1.597
田子町	4,968	86	9,923	57.8	0.501
南部町	16,809	78	9,020	215.5	1.864
階上町	13,496	42	3,183	321.3	4.240
計,平均	283,812	701	124,605	404.9	2.278

## (2)実地調査

今回、調査の協力を得た市町の橋梁管理の現状と課題をヒアリングし、併せていくつかの橋梁現場を見学し、説明を受けた。訪問調査は、近隣の青森県 S 町、H 市および H 町とし、2020 年 11 月から 2021 年 10 月にかけて実施した。

### 1)青森県 S 町

S 町では、2020 年 11 月に訪問調査を行った。県南地方にある S 町は、山間部に囲まれた丘陵地と平野が広がり、季節による寒暖差が大きい。管理している橋梁数は 58 橋であり、そのうち約 65%がコンクリート橋であり、残りの約 35%が鋼橋である。全橋梁の約 20%が竣工後 50 年以上を経過しており、40 年以上のものが約 50%を占めている。コンクリート橋の主な損傷としては、凍害と塩害の複合劣化が、最も多くの割合を占めている。その他としては、伸縮装置の機能低下や排水機構の損傷、防護柵の発錆などが挙げられる。鋼橋の主な損傷としては、鋼材の腐食、特に端部材においての劣化が顕著である。なお、図 20 は実務担当者へのヒアリング状況であり、図 21 は橋梁現場調査の状況である。

実務担当者の声として下記の点が挙げられた。

- ・中長期的な橋梁の修繕計画は策定しているが、劣化の多い橋梁から着手しなければならない。
- ・予防保全の段階から補修、補強を行うことで全体のコストダウンが図れることは分かっているが、実際は手が回らない状況である。
- ・地域住民の生活基盤である小規模な橋まで、今後の方向性が定められていない。
- ・積雪時の除雪の際は、橋梁付近への融雪剤の散布は可能な限り控え、劣化速度が速まらないようにしている。
- ・道路関係や上下水道管理など、橋梁維持管理以外の業務も兼務であり、専任技術者は配置されていない。
- ・行政一般職での採用の為、専門知識がなく、異動もある。専任技術者を配置できない状況での管理となるため、維持管理の相談できる場所が必要である。
- ・県主催の橋梁点検講習会や各種講習会に参加し、知識を習得していかなければならないと考えている。
- ・国側から橋梁の集約化を進めるよう指示されるが、地域住民からの声で減らせない実情もある。
- ・橋梁の管理側としては、小規模でメンテナンスが簡易な構造を希望している。



図 20 S 町 担当者へのヒアリング



図 21 S 町 橋梁現場調査状況

## 2)青森県 H 町

H 町への訪問調査は 2021 年 10 月に実施した。県南地方にある H 町は海に面しており、太平洋側気候であるが、夏は偏東風の影響もあり比較的冷涼、冬季は晴天も多く、日照時間も比較的長い。管理している橋梁は 43 橋であり、そのうち約 90%がコンクリート橋であり、その中の約半数がボックスカルバート形式である、この点は H 町の大きな特徴である。残りの 10%が鋼橋である。主な損傷原因としては S 町と同様、凍害と塩害の複合劣化である。なお、図 22 は橋梁調査状況であり、図 23 は現場にて実務担当者へヒアリングを行っている状況である。

実務担当者の声として下記の点が挙げられた。

- ・橋梁の改修となると町の単独費のみの工事は厳しく、国の補助事業等を活用しないと改修できない。長寿命化を目指して計画的な補修が必要である。
- ・補助事業を活用するにあたり、令和 3 年度より新技術の検討が必要となった。町が管理する橋梁は小規模なものが多く、新技術の活用・検討にまで至っていない。全国的に有効活用されていない傾向にあると感じる。
- ・人手不足が顕著であり、担当者の知識や経験が追い付かない。マンパワーの重要性を痛感する。
- ・各種研修会への参加や関係グループ内での情報共有強化で対策していく必要がある。
- ・当該地域でボックスカルバートの割合が多いのは、長期的(100 年)な LCC 比較を行った際に、ボックスカルバート形式の方が全体的なコストダウンに繋がる点が多い。橋梁形式と比較した際に、地域住民へ影響が大きい通行止め期間が短縮できることも一因である。
- ・農林事業や道路事業など、管理する範囲が広く、さらに部署の異動などで引継ぎ等がうまくいかない場合も多い。



図 22 H 町 橋梁調査状況



図 23 H 町 現場にて担当者へヒアリング



### 3)青森県 H 市

H 市への訪問調査は 2021 年 10 月に実施された。県南地方にある H 市は地理的に山間部から海沿いまであり、内陸側と沿岸側でも気候が異なる。基本的には太平洋側気候であるが、降雪量は比較的少ないが、冬季は氷点下の日も多い。管理している橋梁は約 310 橋であり、そのうち約 90%がコンクリート橋であり、残りの 10%が鋼橋や混合橋である。主な損傷原因としては S 町、H 町と同様、凍害と塩害の複合劣化である。なお、図 24 は改修対象の既設小規模橋梁であり、図 25 は掛替工事での実際にプレキャストボックスカルバートが敷設された状況である。

実務担当者の声として下記の点が挙げられた。

- ・橋梁、ボックスカルバートの維持管理する部署と河川関係や水路関係に維持管理の部署は現状、別部署で行っており、連携が必要となっている。
- ・小規模な橋梁に関しては、全体的な工期短縮や交通規制の観点より、プレキャストボックスカルバートを当初より比較検討に入れている。
- ・橋梁長寿命化計画については、概ね計画通りに進んでいる。
- ・予算関係については、国の補助金制度などを利用している。
- ・水路関係の更新は農閑期の冬季が好ましいが、冬季の現場打ちコンクリートでは、養生が問題となることが多い。
- ・現場により斜角対応が必要となる場合があるが、対応の可否によってプレキャストか現場打ちの選択をする。
- ・プレキャスト製品を使用することで、地域住民や利用者への影響軽減につながる。

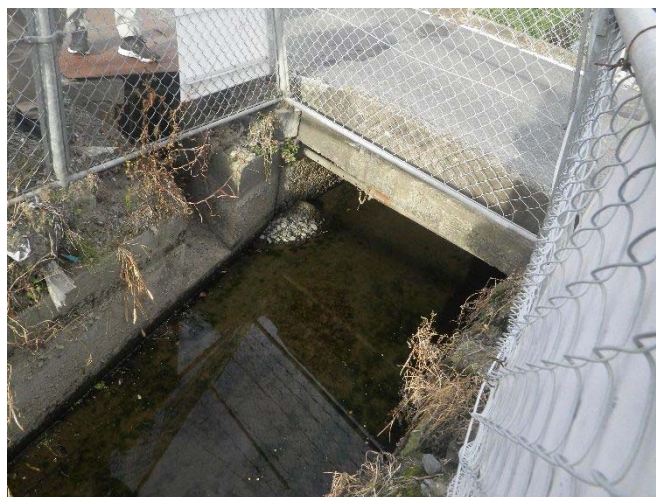


図 24 H 市 既設橋梁の調査



図 25 H 市 掛替工事でのプレキャストボックスカルバート敷設状況

#### 4)他地区からの声

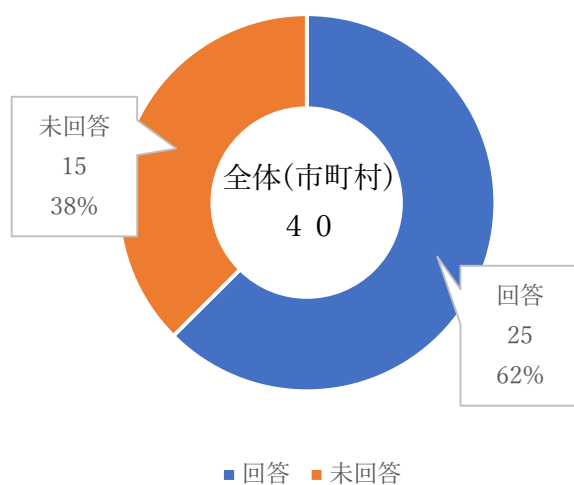
訪問対象とした市町村以外の市町村からは、次のような声もあった。

- ・市町村管理の橋梁は農村周辺に位置するものも多く、施工可能な時期が農閑期など限定的なため、プレキャスト化でなるべく最短工期で終えたいという声がある。
- ・ボックスカルバートは橋梁より費用が抑えられる傾向があるため有効的である。
- ・維持更新に必要な労力が大きいため、ノーメンテナンスや 100 年間の耐久性を求める声も多い。
- ・橋梁の利用者が僅かしかない場合でも、地元住民の生活の一部になっているため撤去するわけにはいかない。
- ・小規模な橋梁の場合その周囲も狭隘な場合が多く、部材重量が軽い構造にするなど極力小さな重機で施工できる工法が求められる。
- ・寒冷地の場合、凍害や凍結防止剤散布による塩害を気にする声も多く、それらに強いものが求められる。
- ・補修の場合は施工当時の資料が残っていない場合も多いため、補修より改修の方が容易である。
- ・市町村での技術者不足や予算不足は、共通の声である。

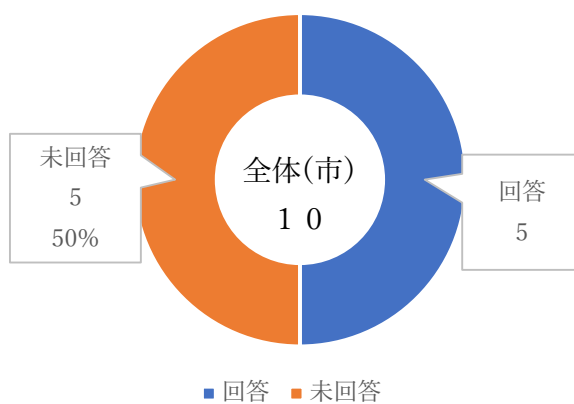
### (3)橋梁維持管理に関するアンケート

橋梁の維持管理における現地ヒアリングと現場見学は全 3 市町村に行ったが、青森県内全 40 市町村の橋梁維持管理に携わる実務担当部署を対象にアンケート調査を実施した。回答があったのは全体の 25 市町村であり、回答率は 62%であった。アンケート結果詳細については補遺として添付する。

アンケートの回答数(市・町・村)

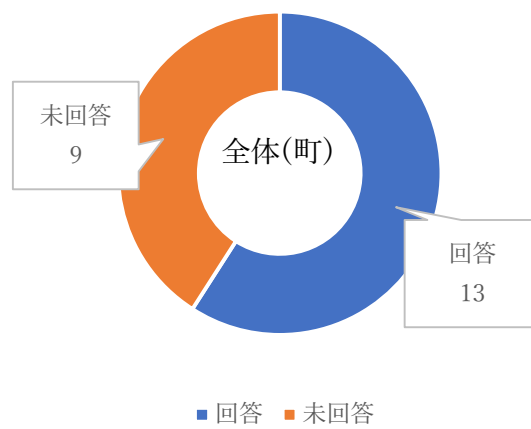


アンケートの回答数(市)

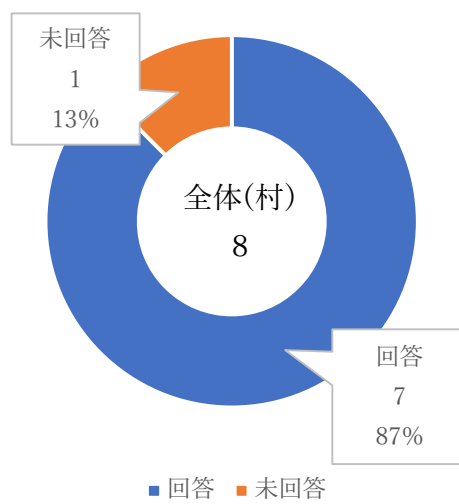




### アンケートの回答数(町)



### アンケートの回答数(村)



- ・調査結果

上記の調査結果によれば課題となっている点は、以下の３点にまとめられる。

- ・財務面での課題

市町村単位での維持管理については、予算の関係上厳しい。したがって、国などの補助を受ける必要があるが、人員不足の点もあり、計画通り進まない。

- ・技術者不足の課題

専門技術者の不足が大きな課題である。立場上、異動等もあり、維持管理に情報共有等にも課題がある。

- ・将来計画への課題

国側からの指示と地元の地域住民の声の、板挟み状態である。地域住民の重要な生活道路である小規模な部分まで将来的な計画が追い付いていない。地域の実情を考慮した整備が検討しなければならない。

劣化の要因として凍害と塩害が共通にあげられていたが、この背景は次のようなことが考えられる。

多くの橋梁が 1970 年代に作られている。1970 年代の日本国内における公共事業は、それまでの主であった、いわゆる大都市圏での社会基盤インフラの整備がある程度、落ち着き始め、地方でのインフラ整備に注力し始めた頃である。

当時のコンクリートは半永久的に供用できる、もしくは恒久的なものであるという認識が多かった時代である。その後、コンクリートについての研究も進み、塩害や凍害が注目されるようになった。その後、道路環境下では、自動車のスパイクタイヤ規制などで、山間部や寒冷積雪地域での融雪剤の大量散布が行われ、多量の塩化物が供給されることとなった。

寒冷地での維持管理では、上記の背景を考慮した対策が期待される。

# 2.5 現場打ちコンクリート構造物とプレキャスト製品の耐荷性能につ

いて

小規模橋梁は地域住民の生活基盤を支える役割を担っており、将来的な維持管理を考慮すると長期的な耐荷性能、すなわち疲労破壊に繋がる繰返し荷重についての検討が必要である。前節まで、道路橋の維持管理においてプレキャスト製品の利用が期待されていることを述べた。本節では、現場打ちコンクリート構造物とプレキャスト製品を利用した際の、繰返し荷重について検討する。

一般的に同形状のボックスカルバートを検討する際において、条件にもよるが現場打構造と比較し部材厚を約 20%低減できる。これは現場打ちコンクリートは通常 24N/mm<sup>2</sup>に対してプレキャスト製品は 30 N/mm<sup>2</sup>以上(多くの大型プレキャスト製品は 40 N/mm<sup>2</sup>としている)となっているためである。

比較検討についてはボックスカルバート断面で幅 4.0m、高さ 2.0m とし、荷重条件を T25 として検討を行った。図 26 に部材厚 400 mm、図 27 に部材厚 250 mm で FRAME 解析を行った際の頂版部材の応力状態を示す。

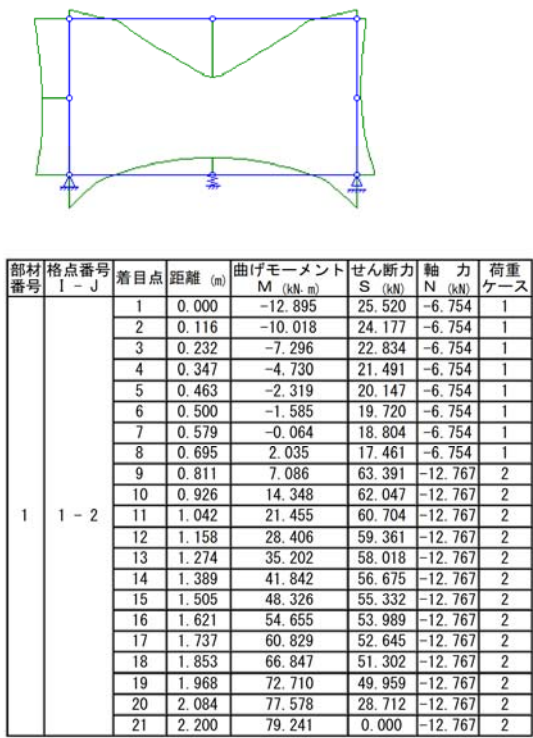


図 26 t400mm FRAME 結果抜粋

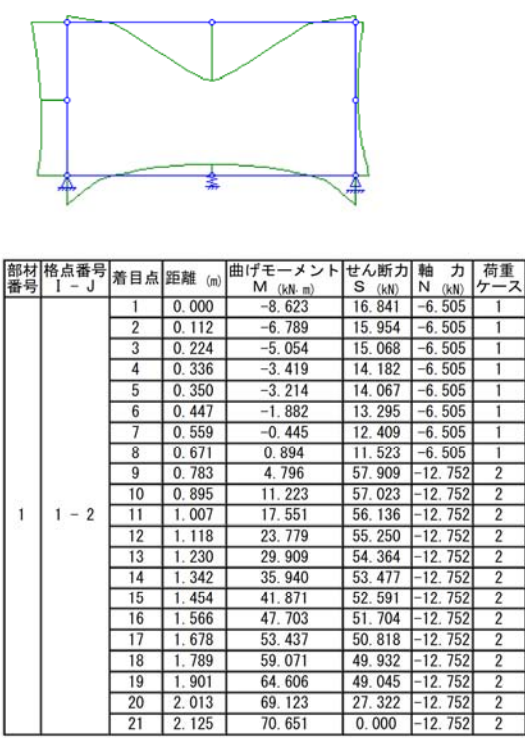


図 27 t250mm FRAME 結果抜粋

繰返し荷重については一般的に、頂版における最大曲げモーメントと支点の最小曲げモーメントの差異が小さいほど、長期的な耐荷性能が高いとされている。図 26 および図 27 の結果から部材厚が小さい図 27 の方の最大曲げモーメントと最小曲げモーメントの差異が小さいことが確認できる。簡易的ではあるが同条件の場合、部材厚が小さい方が繰返し荷重について、長期的な耐荷性能を有することが確認された。このことより、現場打ちコンクリート構造物と比較し、プレキャスト製品にて部材厚を小さく抑えることで、長期的な耐荷性能を向上させることが可能である。

## 2.6 小規模橋梁の大型プレキャストボックスカルバート化における

### 課題

これまで小規模橋梁の代替工法として大型のプレキャストボックスカルバートにシフトすることで多くのメリットがあることを述べてきたが、本節では代替工法としていく際の課題を抽出する。

(1)プレキャスト製品の耐久性向上：資料調査やアンケートから、塩害および凍害劣化が深刻であることが分かる。また、積雪寒冷地域の東北地方においては近年、**ASR**(アルカリシリカ反応)による劣化が問題視されている。これまでのコンクリートは化学法などにより無害判定された骨材を使用してきたが、凍結防止剤など外部からアルカリ供給によって反応する場合があります、高炉セメント等を用いることで **ASR** を抑制できることが分かっている<sup>15)</sup>。

前述のような複合劣化に対して、積雪寒冷地域において、高炉スラグを使用したコンクリートについて耐久性向上を検討する。

(2)大型プレキャスト製品の品質確保：小規模橋梁の代替工法としてプレキャスト製品の適用を検討するにあたり、プレキャスト製品の大型化が挙げられる。これまでプレキャスト製品というと、側溝類や小規模な **L** 型擁壁などといった比較的サイズの小さいものが主流であった。プレキャスト製品の大型化にあたり、プレキャスト製品のメリットである安定品質、高品質という面について、品質の面的ばらつきが懸念されるため、今後の大型プレキャスト製品の品質確保について検討する。

(3)プレキャスト製品の延長連結：大型プレキャスト製品は現場にて各部材を連結し、構造物としての一体性を保つことが前提となる。小規模橋梁の代替工法としては河川や水路を跨ぐ橋梁としての役割のほかに線路を跨ぐ跨線橋や道路の交差する道路橋としての役割もある。プレキャスト製品の延長方向は一般的に **PC** 鋼棒による緊張によって連結するため、**PC** 連結によるプレキャスト製品の一体性を確認・検討する。

## 2.7 まとめ

青森県および県内市町村が管理する道路橋の現状と課題について、特に人口減少が進む中で  
の橋梁の将来について調査し考察を述べてきた。以下に 2 章としてのまとめを述べる。

技術者：橋梁を担当する技術者数は市町村の規模によって制限される。市町村が抱える多くの  
業務を進める中で橋梁のみを特化して管理することは適切ではない。自治体の規模によっては、  
担当者は橋梁専任あるいは橋梁が専門ではない場合がある。道路全般はもちろん、河川、港湾、  
上下水道など、土木事業全般を担当しており、しかもその数も少ない場合がある。老朽化対策  
では、過去の技術と最新の技術の把握していなければ、適切な対策を講じることが困難となる。  
自治体の技術者の確保と育成は大きな課題である。自治体単独での技術者の確保や育成が困難  
な場合は、周辺市町村や他機関との連携が必要となる。技術者には、継続的に新しい技術の習  
得の機会が提供される必要がある。地域特有の環境に相応しい橋梁技術を習得するための研修  
施設の充実や、指導する立場の技術者の育成が期待される。

管理体制：橋梁の管理責任者は、道路管理者である自治体にあるが、その管理業務では、橋梁  
の設計調査を請け負う民間組織、建設コンサルタント業の役割が大きく、また具体的な施工を  
行う建設会社の技術者の役割も大きい。橋梁に関わる事業を請け負う民間企業においては、橋  
梁に特化した技術者の存在が許され、地域の実情を把握して、自治体の技術者と協力しながら、  
適切な方策を見だし展開することが期待される。技術者の少ない地方自治体では、周辺市町  
村や民間企業との連携は重要である。また、地域の自然環境や社会環境を考慮して橋梁に関す  
る技術を研究している地域大学との連携も、様々な技術を取り入れるために重要である。

財政：長寿命化計画策定で年次経費の平滑化が行われ、維持工事が計画的に進められるべきで  
あるが、種々の事情により維持工事の着手や完工が遅れている場合がある。工事の遅れは、橋  
梁の劣化が進み、安全性に課題が発生しかねない。このため、橋梁の状況によっては、通行規  
制などの措置を計画する必要がある。多くの自治体の財政は厳しい状況にあることから、安全  
への配慮は重要である。市町村によっては、大規模橋梁の維持管理に技術的課題と同時に財政  
的な課題を抱えている場合がある。特別なケースについては、管理者が市町村となっても、  
橋梁の利用状況を考慮して、国や県の技術と財政の支援の受けることが望ましい。

人口減少：人口減少に伴う、集落の居住実態、コミュニティの実態、および橋梁の利用実態を  
継続的に把握する必要がある。利用目的と交通量の変化を理解し、橋梁の維持管理計画に反映  
させる必要がある。利用者が減少しても、災害発生時の集落の孤立など、くらしや産業に大き  
な障害となることは避けなければならない。平常時とともに、緊急時における対応も予め検討  
される必要がある。人口減少は、利用者の減少とともに、技術者も減少することを意味する。

1970年代をピークとした橋梁の量的整備の時代から、質的整備の時代へ移行していくことを理解し、今後の計画では、人口減少を考慮した安全かつ負担の少ない維持管理を検討する必要がある。

小規模橋梁のプレキャストボックスカルバート化：道路橋の維持管理を効率的に進めていく上で、比較的小規模な床版橋や桁橋をプレキャストボックスカルバートに置き換えることで、点検時の時間的および専門技術の人員的効率化が可能であり、将来的な維持管理に関わるコストや人員を低減や、長期的な耐荷性能を有することで供用期間を長期できるなど、多くのメリットがある。しかしながら、前節で述べた通り大型プレキャストボックスカルバートにシフトしていく際に課題となる耐久性向上や品質確保、一体性の確保などといった懸念事項に対して検討する必要がある。

## 参考文献

- 1) 国土交通省：道路メンテナンス年報 2020 年 9 月
- 2) 国土交通省：道路橋定期点検要領、2014 年 6 月
- 3) 国土交通省：インフラメンテナンスにおける取り組むべき課題と当面の進め方(案)、社会資本メンテナンス戦略小委員会 資料 2-1
- 4) 青森県：青森県橋梁アセットマネジメントの取り組み、建設マネジメント技術、2008 年 5 月
- 5) 青森県：人口・世帯 統計データより
- 6) 青森県：青森県の人口と面積、2020
- 7) 総務省統計局：利用交通手段、平成 22 年国勢調査、2010
- 8) 国土交通省：交通関係統計資料より
- 9) 青森県：令和 3 年度 8 月 9 日からの大雨による被害がいようと復旧状況(速報)、2021.9.13
- 10) 国土交通省 HP「橋梁の現状」から
- 11) 青森県：青森県道路メンテナンス会議配付資料、2020-2022
- 12) 国土交通省 橋梁等の 2020 年度(令和 2 年度)点検結果とりまとめより
- 13) 国土交通省 道路局：道路橋定期点検要領 平成 31 年 2 月
- 14) 八戸市、三戸町、五戸町、田子町、南部町、階上町：橋梁点検資料および橋梁長寿命化計画策定資料、各市町の関係ホームページ、2019-2020
- 15) 国土交通省 道路局：東北地方における R C 床版の耐久性確保の手引き（案）2021 改訂版、令和 3 年 6 月



## 3 章 高炉スラグを用いた高耐久コンクリートの寒冷地プレキャスト製品への適用について

### 3.1 研究背景

第2章では小規模橋梁の代替工法としてボックスカルバート、とりわけ技術者・技能者不足からプレキャスト製品の活用が望まれていることを述べ、今後の課題の一つとして、プレキャスト製品の耐久性向上を述べた。プレキャスト製品は一般的に管理された製造環境のもとで製造されるため、現場打ち構造物と比較して、品質や耐久性に優れていることが知られている。しかしながら、現場打ち構造物においても「山口方式」<sup>1)</sup>など現場打ちコンクリートの施工方法や管理方法を定め、そのための研究や検討が活発に行われ従来の現場打ちコンクリートと比較し、高品質なものを建設している。プレキャスト製品においても、様々な研究や検討がされているが、青森県のような積雪寒冷地域では、前章の青森県内市町村を対象に行った聞き取り調査の結果にも反映されているように、その気候的な条件により、ひび割れの発生、スケーリングやポップアウトに代表されるような寒冷地特有の凍害劣化を受けやすい環境にあり、実際に現地調査に出向いた小規模な橋梁(全15橋)の全てにおいて、塩害および凍害による劣化・変状を確認している。これらのことから、構造物の耐久性向上は今後の維持管理において重要なポイントであると考ええる。

まず、コンクリートの劣化状態について分類する。

**Spall** (角落ちなどの部分的な剥落)

**Pitting** (あばた、表面の比較的小さな孔の発達)

**Pop out** (内圧による円錐状の剥離)

**Scaling** (表層部の部分的な剥離)

コンクリートの凍害劣化の進行には大別して2つの形態がある。一つはひび割れ型、もう一つはスケーリング型である。近年、スパイクタイヤの規制に関する法律が施行された1991年以降、塩化物を含む凍結防止剤の散布量の増加に伴いスケーリングによる劣化が顕在化したため、凍害ならびに塩害の一形態として関心を集めた。スケーリングは、AE剤で十分に空気連行を行っても生ずる塩化物の作用の凍害劣化の形態で、凍結融解が作用することによってコンクリート表面の水溶液中のCl<sup>-</sup>濃度増加とともに、浸透圧が発生する。これは、コンクリート表面と内部との温度差を生じ、温度衝撃によってコンクリートが劣化する現象が主な要因だと考えられており、より大きな浸透圧が発生することによって引き起こされるコンクリートの表層剥離である。そのため、構造物の美観を損なうだけでなく、断面欠損による構造耐力の低下や、水分、塩化物の浸透速度を速めてアルカリ骨材反応や鉄筋腐食などのような他の劣化発生の危険性を増大させている。さらに劣化が進行した段階では骨材が露出し、著しい場合には、

外部劣化因子の鉄筋が腐食するケースも多数報告されている。鉄筋が腐食するケースは塩害だけに限らず、中性化も問題視されている。中性化によって、コンクリート内部の pH 値は低下しアルカリ性を保持できず、内部鉄筋の腐食原因に繋がる。

コンクリート構造物が一般的に作られるようになって 50 年以上が建つ、橋梁やダムなどの土木工学分野でのコンクリート構造物においては、施工できる範囲でできるだけスランプの小さいコンクリート、すなわち単位水量の少ないコンクリートを用いて、バイブレータなどで十分に締め固めることが、「品質の良いコンクリート」、すなわち耐久性の高いコンクリート構造物を構築する方法として示されており、今も一般的なコンクリート構造物について適用されている。一般に、土木のコンクリート構造物は、建築のコンクリート構造物のように化粧を行わず打放しとするため、より高い耐久性がコンクリートに要求される。以前のコンクリート構造物は、メンテナンスフリーで永久構造物という神話が作られ、100 年の耐久性を持つとも言われていた。しかし、最近では、10 年は愚か、5 年程度で劣化するものが増えてきており、大きな社会問題となっている。近年では現場打設において高品質なコンクリートを打設するためのマニュアルなども整備され始め、コンクリート品質確保や耐久性についても多く研究されている。

コンクリートの耐久性向上や性状改善には、フライアッシュやシリカフューム、高炉スラグなど多種多様なものがあるが、本研究においては高炉スラグに着目した。高炉スラグとは銑鉄の製造過程において鉄鉱石の鉄以外の成分が、副原料の石灰石、コークス中の灰と一緒に分離回収されたものである。高炉スラグの製造過程や使用用途を図 1 に示す。

その中でも水砕スラグについてはコンクリート用細骨材として多く利用されている。さらに、この水砕スラグを微粉末化し高炉スラグ微粉末として高炉セメントや混和材としても多く利用されている。高炉水砕スラグは国内でおよそ 2600 千トン/年程度が製造され、その約 9 割弱が高炉セメントやコンクリート混和材料として利用されている<sup>1)</sup>。

高炉スラグ微粉末を結合材の一部に置換することで、長期強度の増進や水和熱の低減、水密性の向上など多くのメリットがある。一方で、強度発現の面で時間を要することや、高炉スラグの生産拠点が寒冷地に少ないことなどから、積雪寒冷地域で使用されることはほとんどない。しかしながら、先に述べたメリットの中において、対凍害性の向上や耐塩害性の向上の効果も期待でき、積雪寒冷地域でこそ、高炉スラグが有する高耐久性を有効活用可能と考える。一方で、高炉スラグ細骨材や高炉スラグ微粉末は水分吸着性が高く、材料としての保管状況や取り扱いが非常に難しい。そのためプレキャスト製品のような、製造環境が一定な工場で製造され、高水準な品質管理で保管されるプレキャストコンクリートにおいて、高炉スラグの性能を最大限に発揮できるものとする。

プレキャスト製品の高耐久化においては、現場打コンクリートと比較し、製造工程や養生工程も異なることから、プレキャスト製品に応じた検討が必要となる。これまでは主に銑鉄の生産拠点多い西日本で普及していたコンクリートを、青森県内で製造すること踏まえて本研究では、青森県産骨材を用い、既存のプレキャスト製品製造設備にて製造したプレキャスト製品について、対凍害性や耐塩害性についての検討を行った。

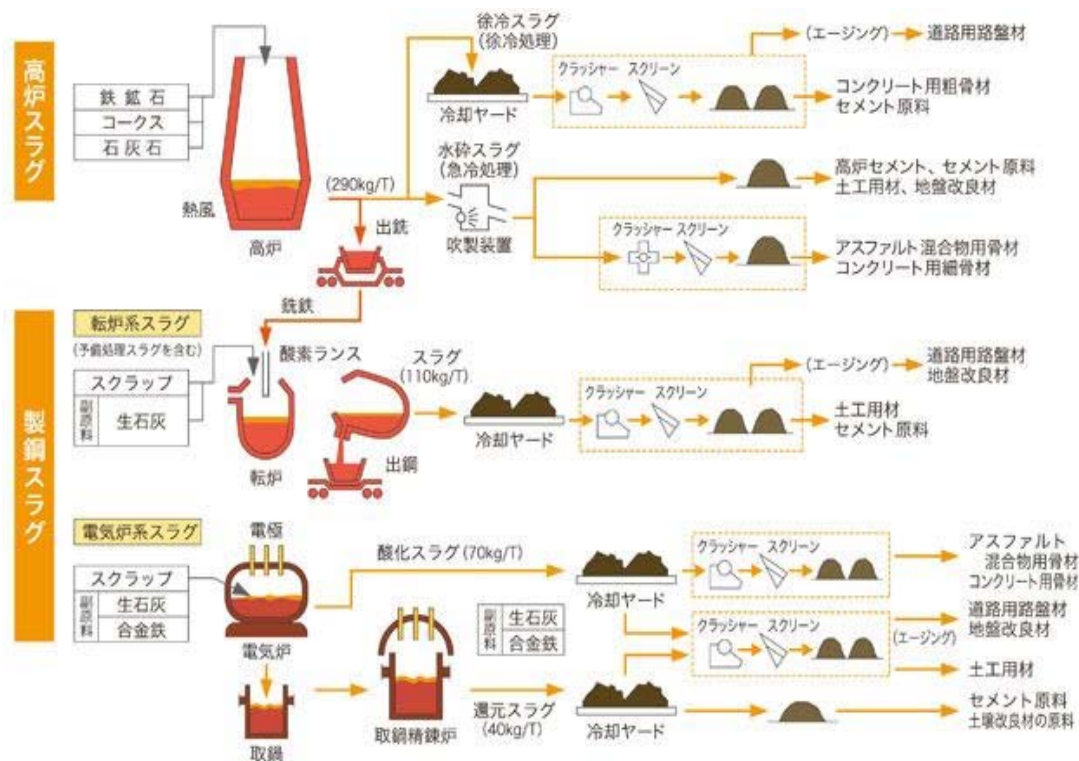


図1 高炉スラグの製造過程や使用用途(鉄鋼スラグ協会より)

### 3.2 寒冷地における凍害および塩害の発生状況

東北地方などの寒冷地では冬季の寒冷気象が厳しく、コンクリートの耐久性に影響を及ぼす特有な劣化として古くから凍害が知られている。耐凍害性を飛躍的に向上させるAE剤の効果は、1930年代初めに米国において偶然発見されたが、我が国にAE剤の情報がもたらされたのは1947年(昭和22年)にイリノイ大学のGonnerman教授から吉田徳次郎先生に送られてきた論文によってである。1950年(昭和25年)には我が国でもAE剤の生産が開始され、それ以降、我が国においても耐凍害性を確保するための研究が精力的に行われた。

しかし、多くの貴重な研究成果が得られているにも関わらず、現在においても、凍害の劣化事例は後を絶たない。最近では、凍結融解作用と塩化物を主成分とする凍結防止剤の作用が複合することによって生ずるスケーリングが東北各地の道路付帯コンクリートに観察されるようになった。

表1に東北地方で観察される凍害劣化の発生程度を示す。表1からは、東北地方において凍害による劣化症状のすべてが顕在化していることが分かるが、ここで注目すべき点は、ひび割れや剥落、崩壊などよりもスケーリングが最も多く、特に土木構造物に顕著であるという点である。表層劣化であるスケーリングは、塩化物の作用によって著しく促進され、最近において凍結防止剤の散布量が増加したことから、図2のように道路に付帯するコンクリートなどにスケーリングの発生が急増し、これまで目立たなかった凍害の形態として注目される。表1にみられるように、スケーリングは土木構造物に多いという点は、まさしく凍結防止剤の影響が大きいことを示唆している。

表 1 東北地方で発生する凍害劣化程度

劣化症状	土木構造物 (n=249)	建築構造物 (n=79)
Dひび割れ	15%	19%
パターンひび割れ	9%	19%
長手方向ひび割れ	4%	10%
スケーリング	35%	22%
剥落・崩壊	18%	8%
浮き	6%	18%
ポップアウト	7%	5%

図 3 に東北地方における凍結防止剤の散布量を示す。スパイクタイヤ規制以前の散布量は別途調査による結果である。散布量は、スパイクタイヤ規制以前の 1986～1989 年度において約 14,000～15,900 トンであるが、規制以後の 1997 から 1999 年度においては約 56,000～82,000 トンである。規制以後は規制以前の 3.5～6.0 倍の散布量となっており、年々増加する傾向にある。しかし、散布量に関する調査回答率は、規制以前が 87%であるのに対して、規制以後は約 35%と低く、規制以後の散布量はさらに増加していくものと推察される。



図 2 縁石のスケーリング状況

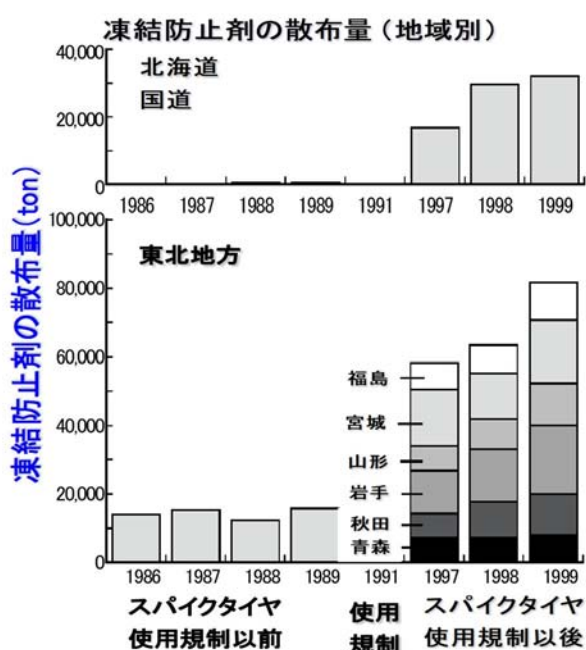


図 3 凍結防止剤の散布量

図 4 にスパイクタイヤ規制以後における凍結防止剤の種類による散布量を示す。NaCl の散布比率は 83～86%と高い。塩化物が作用したコンクリートの凍害によるスケーリングは CaCl<sub>2</sub>

などのほかの塩化物より NaCl が作用したときに最も著しくなり、NaCl を主成分とする凍結防止剤の影響によるスケーリング発生対策を講じる必要がある。

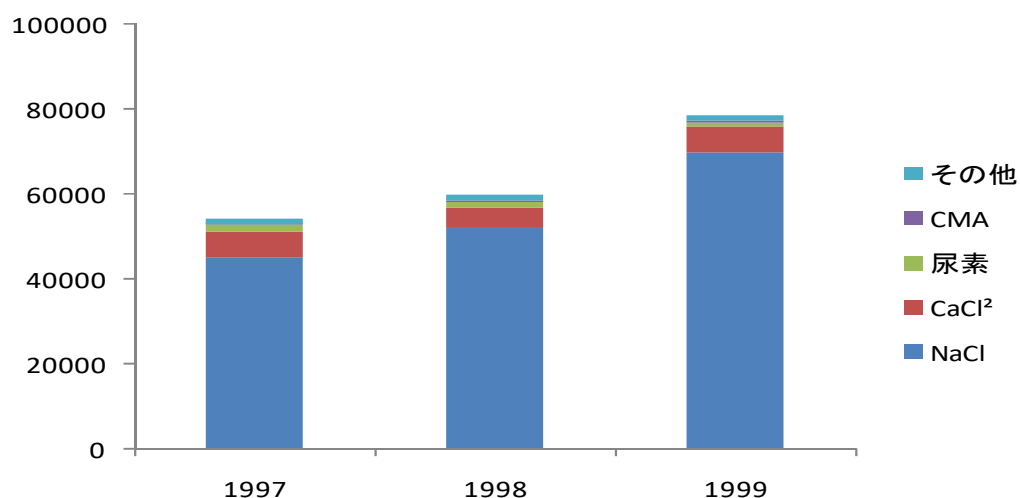


図4 凍結防止剤の種類ごとの散布量

凍結防止剤の影響が最も早く表れる劣化はコンクリート表層の激しいスケーリングである。しかし、凍結防止剤が年々コンクリート中に浸透・拡散していき、ある程度の量まで蓄積されると、塩害はもちろんのこと、NaCl の場合では、ナトリウムイオンの影響によってアルカリ骨材反応を顕在化させる懸念がある。1991 年のスパイクタイヤ使用規制以後における凍結防止剤の著しい散布量の増加によって、すでにその兆候が表れている構造物もある。



### 3.2 高炉スラグに関する既往研究

西日本で普及している高炉スラグ微粉末と高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートに関する既往研究<sup>例えば 3,4,5)</sup>では、特徴として耐塩害性、対凍害性、複合劣化、耐硫酸性、低炭素化、資源循環といったメリットが挙げられている。

対凍害性については凍結融解サイクル数 1200 サイクルまで行った研究があり、1200 サイクル時においても、相対動弾性係数の低下は確認されていない。本研究で行った配合についても、凍結融解 1500 サイクル時において、96.1%と高い値を示している。このことから、対凍害性については、西日本で普及している高炉スラグコンクリートと比較しても、同等の耐久性を有していると推測される。

複合劣化に対する耐久性については、既往研究より、高炉スラグの粒度や養生条件によっても異なるが、粒度の細かい高炉スラグを使用することで対凍害性が向上することが分かっている。本研究で行ったスケーリング抵抗性試験は 60 サイクル終了時で 0.45 kg/m<sup>3</sup>であり、一定の抑制効果は有するものと推測される。

その他の耐塩害性や耐硫酸性の性能については、今後の課題としたい。また、既往研究では、EPMA による耐塩害性能(図 5)、顕微鏡観察写真(図 6、図 7)による骨材界面付近の観察を行っているため、同様の検討を行い、比較検討することが良いと考える。

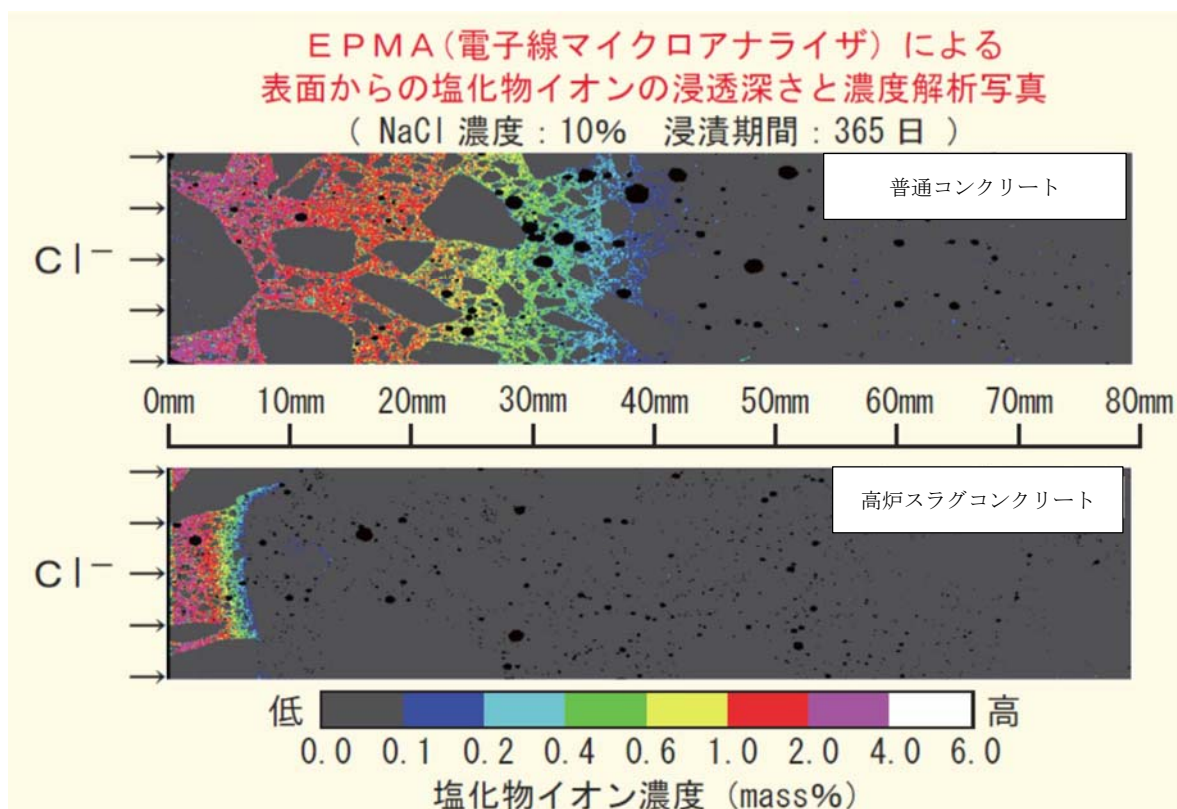
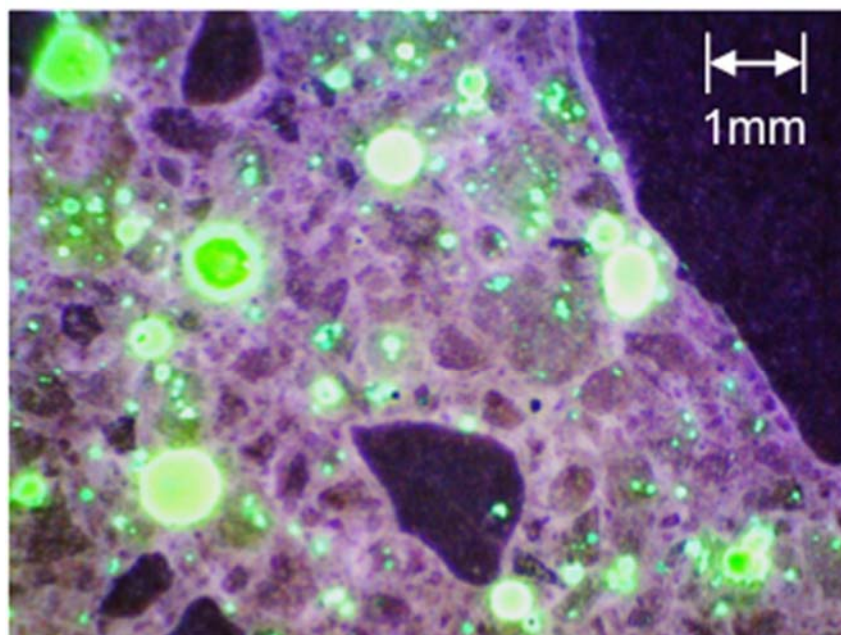
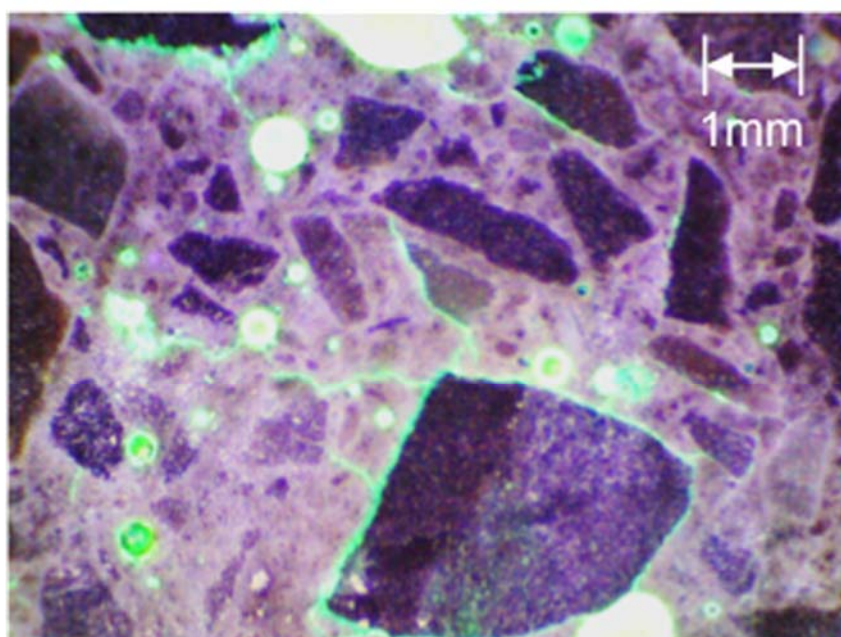


図 5 EPMA による塩化物イオン浸透深さと濃度解析データ



高炉スラグ細骨材

図 6 高炉スラグを用いたコンクリートの顕微鏡観察写真



硬質砂岩砕砂

図 7 通常の骨材を用いたコンクリートの顕微鏡観察写真

### 3.3 高炉スラグコンクリートの耐久性に関する検討

#### (1)高炉スラグコンクリートの概要について

コンクリート構造物のかぶりコンクリートは様々な劣化因子からの保護層としての機能を担っている。このことは、構造物の耐久性と密接に関係していると考えられている。すなわち、表層が緻密なコンクリートであれば、様々な劣化因子の侵入を抑制することができ、結果として高耐久なコンクリートということになる。

これまで高炉スラグ微粉末と高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートについては、銑鉄の生産拠点がある関西方面を主軸として検討<sup>例えば 3,4,5)</sup>および普及が進められてきた。高炉スラグ微粉末と高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートは数多くのメリットがあり、その中でも対凍害性と耐塩害性については、積雪寒冷地域の東北地方においても特に有効であると考ええる。関西方面では昨今の *i-construction* の一端を担うコンクリート工における生産性向上の観点より、プレキャスト製品への適用に関する研究<sup>例えば 6)</sup>が多く進められてきた。しかしながら、東北地方の環境や骨材状況に沿った検討はほとんどない。そこで、前章のインフラ老朽化の観点より、今後、維持管理が容易なプレキャストボックスカルバートへの適用性を想定し、東北地方での高炉スラグを用いたプレキャストコンクリートを念頭に検討を行った。検討における前提条件として、既存のプレキャスト製品製造ラインを用いての製造、大型プレキャスト製品への適用を念頭に置く。

1994 年 4 月からスパイクタイヤの規制に関する法律が施行された。これに伴い北海道や東北地方などの積雪寒冷地域では、冬季路面の安全確保のため、凍結防止剤が路面に大量散布され、コンクリートの劣化発生が懸念されるようになった。特にスケーリングは構造物の美観を損なうだけでなく、断面欠損による構造耐力の低下や鉄筋腐食など様々な劣化発生の危険性を増大させるなど、これまであまり知られていなかった凍害の一形態として注目されている。

また、積雪寒冷地域では冬期間の低温環境下におけるコンクリート構造物の凍害劣化を受けやすい。AE コンクリートによって、対凍害性を向上させることは既往の研究<sup>7)</sup>より明らかである。しかしながら、西日本で普及している高炉スラグを用いたコンクリートは、空気量を 0% と設定し、高流動コンクリートとして使用している。一方、高流動コンクリートの製造については、一般的に自己充填性が高く粘性が高いため、これまでの製造設備、特に旧型ミキサーでは対応が難しいという点がある。既存の設備を使用して製造できる通常のフレッシュ性状を保ちつつ、対凍害性を有しているか検討するため JIS A 1148 における凍結融解抵抗性試験を行った。本章では JIS A 1148 による凍結融解抵抗性試験および ASTM C 672 によるスケーリング試験を行い、それぞれの耐久性について検討を行った。



## (2)供試体に用いた実験材料および配合

試験に用いた供試体の使用材料として、セメントは高炉セメント B 種(3.04g/cm<sup>3</sup>)、粗骨材は最大寸法 20mm の石灰岩碎石(2.71g/cm<sup>3</sup>,F.M6.62,吸水率 0.34%)、細骨材は高炉スラグ細骨材(2.73g/cm<sup>3</sup>,F.M2.57,吸水率 0.64%)、混和剤は高性能減水剤と A E 剤を使用した。

本試験に用いたコンクリートの配合を表 2 に示す。水セメント比は 30%、目標空気量を 4.5% とした。

表 2 示方配合

Gmax (mm)	W/C (%)	目標 スランプ (cm)	目標 Air (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
					W	C	S	G	A E 剤
20	30	21±1.5	4.5±1.5	44.9	155	517	774	932	3.62

## (3)供試体寸法と養生条件について

スケーリング抵抗性試験に用いた供試体は、角柱供試体を切断し、試験面を切断面として下記の図 8 に示すような 100×100×100mm の供試体とし、試験面側面にシーリングを施しアルミテープで壁面を作成し行った。

凍結融解抵抗性試験に用いた供試体は、供試体サイズは図 9 に示すような 100×100×400mm の角柱供試体を使用した。

また、供試体作成については、実際のプレキャスト製品製造工場にて行った。養生条件については、打設完了後、24 時間の常圧蒸気養生を行い、翌日脱型とした。脱型後 14 日間の気中養生を行い、スケーリング抵抗性試験については、その後供試体の切断、試験準備を行い、試験開始とした。凍結融解抵抗性試験については 14 日間の吸水期間を設け、その後、試験開始とし、まとめたものを図 10 に示す。なお、常圧蒸気養生の温度管理については、実際のプレキャスト製品製造に合わせてものを図 11 に示す。

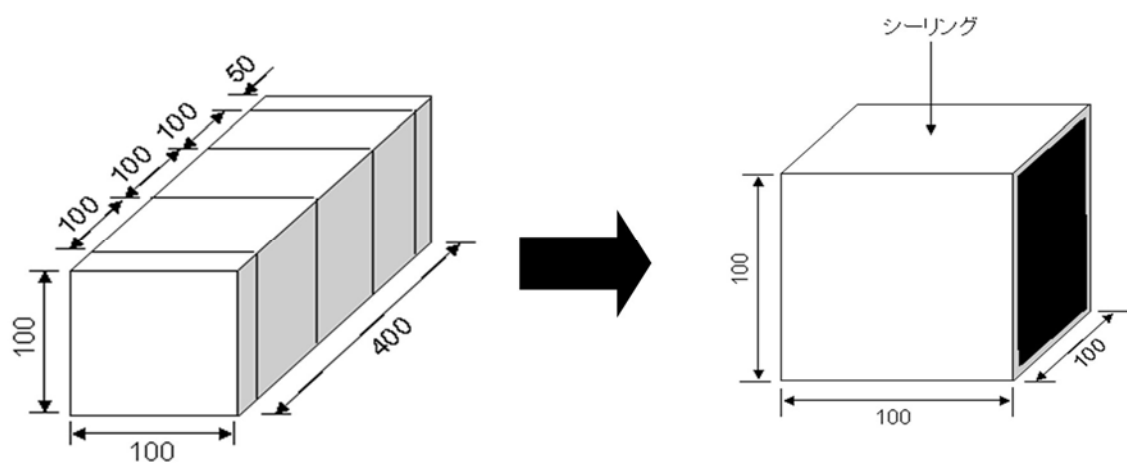


図 8 供試体概要図(スケーリング)

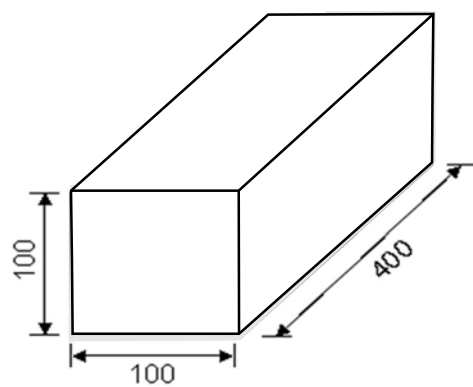


図 9 供試体概要図(凍結融解試験)

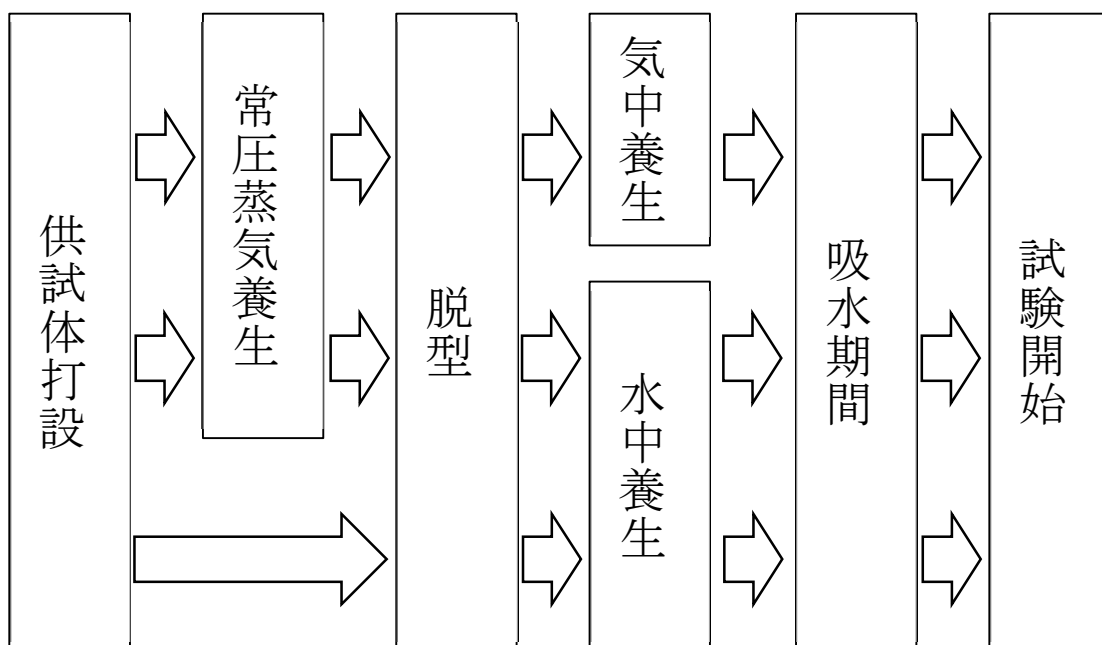


図 10 養生条件

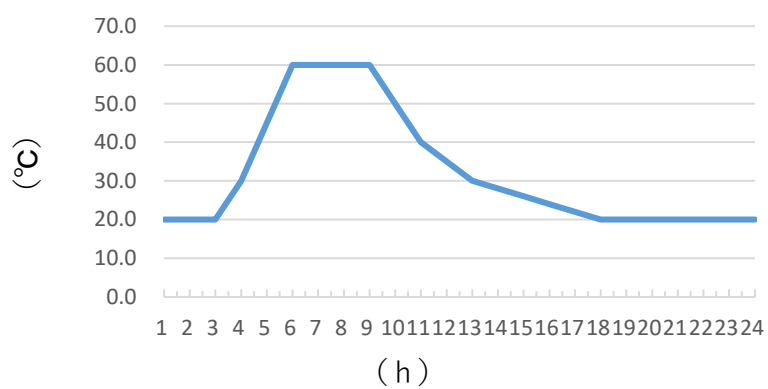


図 11 常圧蒸気養生工程

#### (4)耐久性試験の試験方法について

スケーリング試験は ASTM C672 に準拠して実施した。温度条件を図 12 に示す。温度条件とサイクルを自動制御とし、試験水には NaCl 3%溶液を用いた。

スケーリングの評価は、5 サイクル毎に 50 サイクルまで行い、5 サイクル毎にスケーリング片を採取してイオン交換水で塩分を洗い流し後、105℃で 24 時間乾燥させた質量を、スケーリング量として測定した。

凍結融解抵抗性試験については JIS A 1148 水中凍結水中融解に則って行い、実験ケースは 1 ケース 3 本、凍結融解の温度条件は 1 サイクル 4 時間とし、供試体中心温度が+5℃から-18℃に降下し、再度+5℃までを 1 サイクルとして行った。

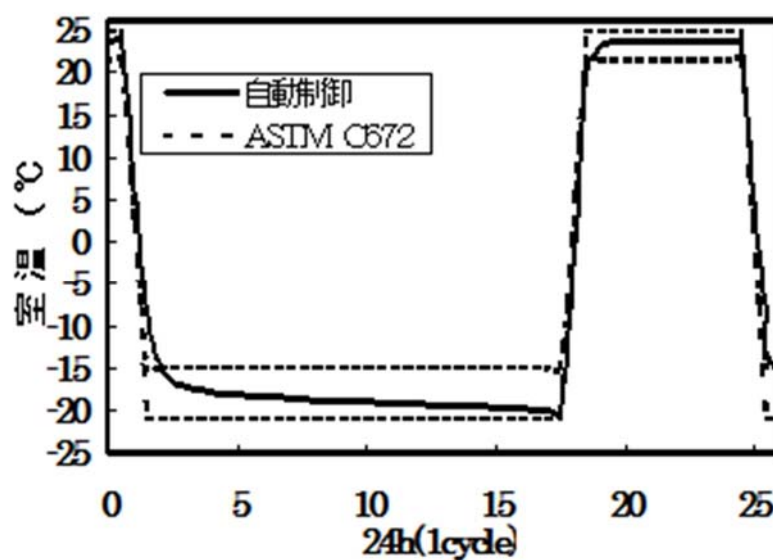


図 12 温度条件図

### 3.4 高炉スラグコンクリートの耐久性試験結果

#### (1) スケーリング試験結果

試験結果を図 13 に表す。縦軸にスケーリング量、横軸にサイクル数を示している。60 サイクル終了時の累加スケーリング量としては  $0.45 \text{ kg/m}^3$  であった。

既往研究<sup>9)</sup>より高炉セメント B 種を用いて蒸気養生を行ったコンクリートは一般的にスケーリング抵抗性が低いことが知られている。本研究ではコンクリートの表層を緻密化し、劣化因子の侵入を可能な限り抑制し、通常のプラント設備での製造を目標にしているため、目標空気量を 4.5% とした。西日本で普及している高炉スラグコンクリートの空気量 0% と比較すると、含有空気量が多いが、一定のスケーリング抑制効果がある結果となった。西日本で普及している配合については、既往研究<sup>例えば 9,10)</sup>により、骨材とセメントペーストの境界面に空隙をなくすることで、そもそもの劣化因子の侵入をなくするものであるが、本研究で得られた結果においては、これまでの AE コンクリートに関する既往研究の成果も多く確認されているため、AE 剤による連行空気が作用しているものと推測される。

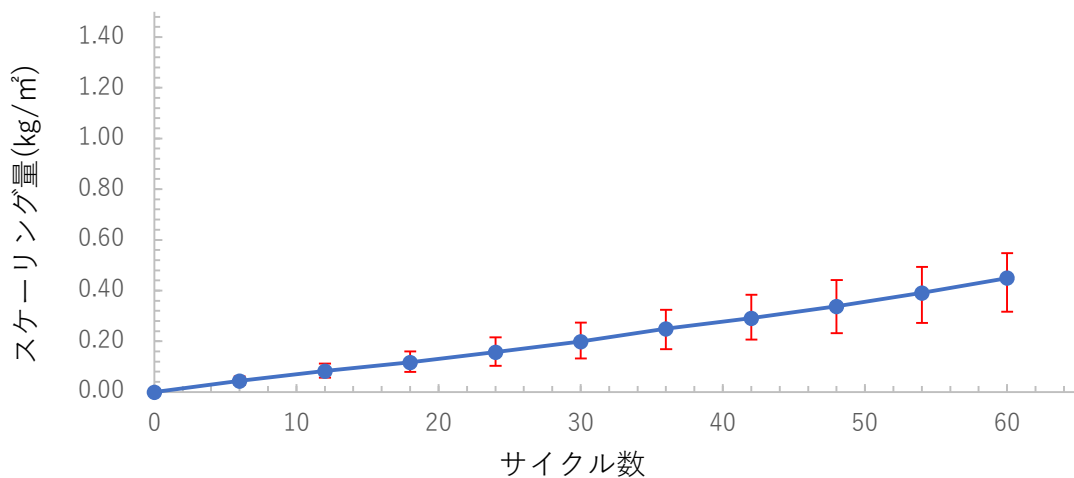


図 13 スケーリング試験結果

#### (2) 凍結融解抵抗性試験結果

凍結融解抵抗性試験結果として、相対動弾性係数の推移を図 14 に、質量減少率の結果を図 15 に表す。通常 300 サイクル行う試験だが、本研究では 1500 サイクルまで行った。

基準ケースとなる脱型後水中養生のケースでは相対動弾性係数で 99.8%/1500 サイクル時であり質量減少率も 0.72% と高い耐久性が示された。常圧蒸気養生を行った 2 ケースについて、蒸気養生後に水中養生を行うケースにおいては、相対動弾性係数で 99.9%/1500 サイクル時、

質量減少率 0.93%と基準ケースと比較しても、ほぼ同等の耐久性を有することが確認された。大型プレキャスト製品製造を想定した蒸気養生後気中養生のケースでは相対動弾性係数で 96.1%/1500 サイクル時、質量減少率 1.58%と 3 ケースでは最も低い耐久性となった。しかしながら、1500 サイクル終了時での値であり、水中養生を行ったケースには劣るものの、十分な耐久性を有している結果である。

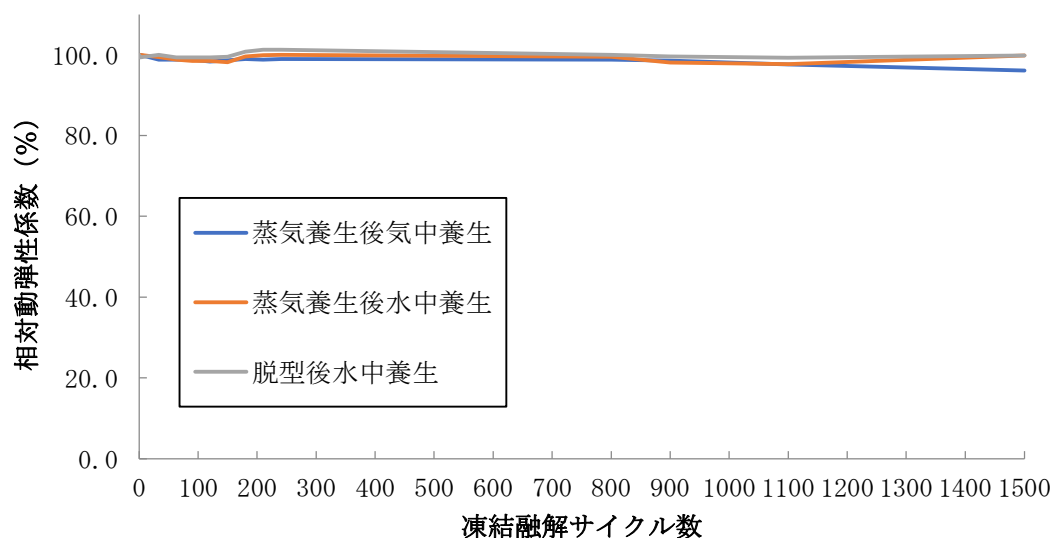


図 14 凍結融解試験(相対動弾性係数)

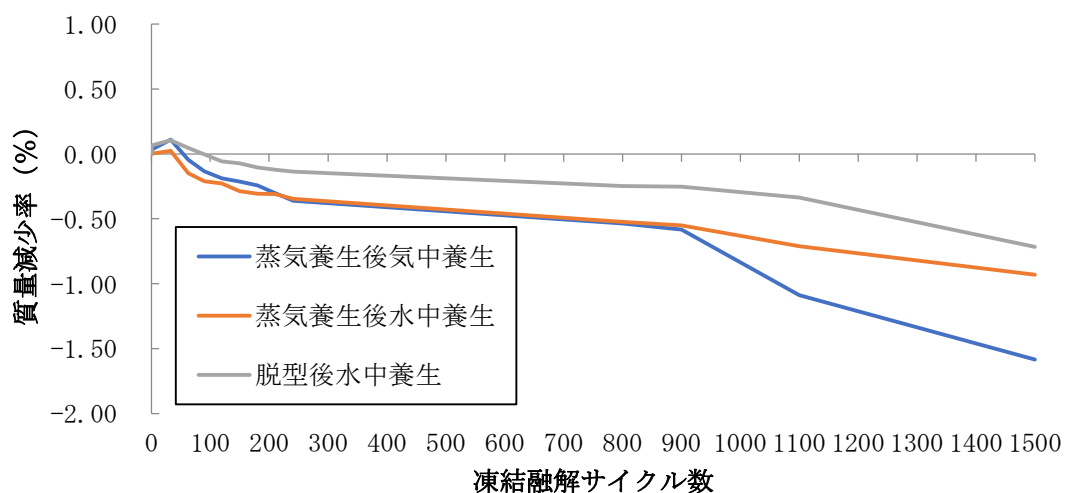


図 15 凍結融解試験(質量減少率)

### 3.5 まとめ

- ・高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートについて、スケーリング試験と凍結融解試験の結果、高い耐久性を有することが確認された。
- ・高炉 B 種と高炉スラグ細骨材を併用することで、常圧蒸気養生を行ったコンクリートについても対凍害性が向上することが確認された。
- ・高炉スラグ細骨材以外の骨材に青森県内の材料を用いたとしても、対凍害性に関しては、高炉スラグ細骨材と高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートと比較して、西日本で普及しているコンクリートと同等の耐久性を有することが確認された。

以上のまとめより、積雪寒冷地域におけるプレキャスト製品においての高耐久化は、高炉スラグを使用することで、県内の一般的なプレキャスト製品製造工場の設備と県産の骨材を使用し、更なる耐凍害性と耐塩害性を向上させることが可能であることが確認された。高炉スラグ B 種セメントを使用すると、常圧蒸気養生を行った際に懸念されていた凍害性についても高炉スラグを併用することで改善することが確認された。これは高炉スラグを使用することで、表層品質を密実化させ、水分の侵入を抑制する効果があるのではないかと推測される。

以上のことより、積雪寒冷地域におけるプレキャスト製品に適用することで、更なる耐久性の向上を図れることが確認された。

・参考文献

- 1) 山口県：コンクリート構造物品質確保ガイド 2021 2021.10
- 2) 鉄鋼スラグ協会：鉄鋼スラグ統計年報(2020 年度版),2021.7
- 3) 細谷多慶：高炉スラグも用いて耐塩害性,耐凍害性,耐硫酸性を向上させた緻密コンクリート「ハレーサルト」中国地方建設技術開発交流会(広島会場), 2013,11.8
- 4) 綾野克紀,藤井隆史：高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの凍結融解抵抗性に関する研究, 土木学会論文集 E2(材料・コンクリート構造), Vol. 70, No. 4, pp.417-427, 2014. 12
- 5) 藤井隆史,西野隆,細谷多慶,綾野克紀：高炉スラグを用いたコンクリートの耐久性に関する研究, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.9, pp.57-62, 2009.10
- 6) 後藤隆臣,栗原光司,島弘,平野勝識,笹谷輝勝,小倉貴裕：機械式継手単体の特性と実大 RC 壁部材の部材性能との関係土木学会論文集 E2(材料・コンクリート構造), Vol. 75, No. 3, 208-225, 2019
- 7) 濱幸雄,阿波稔,新大軌：コンクリートの凍害メカニズムと気泡の役割・制御、コンクリート工学年次論文集, Vol.56, No.5, 2018
- 8) 岩城一郎,子田康弘,上原子晶久,諸岡等：塩分環境下における高炉セメントを用いた蒸気養生コンクリートのスケーリング抵抗性に関する研究、コンクリート工学論文集 第 21 巻第 3 号 2010 年 9 月
- 9) 森雅聡,藤井隆史,Paweena JARIYATHITIPONG,綾野克紀：高炉スラグ細骨材によるコンクリートの凍結融解抵抗性改善に関する研究、コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, 2014
- 10) 羽原俊祐,田中舘悠登,小山田哲也,五十嵐数馬：ソルトスケーリング抵抗性に及ぼす小径空気泡混和材の導入効果 セメント・コンクリート論文集 69 巻 (2015) 1 号



## 4 章 大型プレキャスト製品の表層品質分布と耐久性分布について

### 4.1 研究背景

2 章で述べたように、近年、国内の建設現場における技能者・技術者の不足は大きな課題である。そこで国土交通省は **i-construction** の推進を打ち出し、その一つにコンクリート工における生産性向上が掲げられている。プレキャスト製品の活用は建設現場の担い手不足の解消のみならず、工期に制約のある寒冷地の現場や、災害復旧などの迅速な対応が要求される現場において、大きなメリットを有している。併せて、プレキャスト製品は一定の管理状況化において製造されるため、一般的に現場打ちコンクリートよりも品質が安定し、高い耐久性を有していることが知られている。

現場打ちによるコンクリートにおいては、様々な現場環境下で施工されるため、暑中コンクリートや寒中コンクリートの施工方法なども、コンクリート標準示方書に示されている<sup>1)</sup>。また、これまで汎用的に使用されてきた U 字構や歩車道境界ブロックなど、比較的、小型のプレキャスト製品の表層品質確保については、多くの研究や指針などが示されている<sup>2)</sup>。しかしながら、**i-construction** において利用が拡大している大型プレキャスト製品については、1995 年の阪神淡路大震災や 2011 年の東日本大震災などの大規模災害以降、耐震設計の考え方も変遷し、様々な構造物において、部材が大型化している。

現場打コンクリートについては、既往研究より<sup>例えば 3,4)</sup>より施工方法や部材厚方向、打設高さによって表層品質がばらつくことが報告されている。表層品質を評価する上で、測定対象面に対して数点の測定を行い、対象構造物の代表値とすると、面的分布や測定値のばらつきにより、劣化予測を行った際に現実的な耐久性との乖離が懸念される。そこで、測点数や面的分布を可能な限り抑制する研究や検討が行われている。

プレキャスト製品においても、同様の懸念があり、さらに現場打コンクリートとは製造方法や養生方法が異なるため、現場打コンクリートとはばらつきの状況などが異なることが予測される。さらに、大型プレキャスト製品となると、それらがより懸念される。

そこで本章では、実際のプレキャスト製品を模擬した養生方法の異なる試験体を作製し、非破壊試験による対象面内の表層品質分布および、各位置における耐久性の分布について検討を行った。また非破壊試験において、測定数による結果のばらつきに関しても併せて検討を行った。併せて、測定点数のばらつきが抑制される測点数についても検討を行った。

## 4.2 非破壊試験について

### (1) 供試体に用いた実験材料と配合、供試体製造について

本検討で使用したコンクリートの配合を表 1 に示す。コンクリート配合は、実際にプレキャストコンクリート製造工場で使用している配合であり、水セメント比：36%、目標スランプ：18cm±2.5cm、目標空気量：4.5%±1.5%である。使用材料は、以下の表 5-1 に示す。セメントは普通ポルトランドセメント(3.16g/cm<sup>3</sup>)を使用した。粗骨材は最大寸法 20mm の石灰岩碎石(2.71g/cm<sup>3</sup>)、細骨材は陸砂(2.58g/cm<sup>3</sup>)と石灰岩砕砂(2.66 g/cm<sup>3</sup>)を 6：4 の割合で混合、混和剤は高性能減水剤と PAE 化合物を主成分とする AE 剤を使用した。

表 1 示方配合

Gmax (mm)	W/C (%)	目標 スラ ンプ (cm)	目標 Air (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )						
					W	C	S 1	S2	G	減水剤	A E 剤
20	36.4	18± 2.5	4.5 ± 1.5	40	157	431	410	284	1068	3.88	2.0A

試験体は、練り混ぜ後、タイヤショベルにて型枠振動機付き鋼製型枠へ投入し、高周波振動機を使用して打込みを行った。打設順と方法を表 2 に示す。

表 2 供試体打設時の項目と留意点

		項目	規格値
1	1 層の高さ	500mm 以内	備考 1
2	投入の高さ	1500mm 以内	ショベルのバケットから投入(横流し打設はせず、流れにくい箇所はスコップで投入する)
3	固定パイプ	20～30 秒	バケットから型枠底面までの高さ
4	棒パイプ	15～秒	生コン性状を目視確認しながら振動時間を調整する
5	2 層の高さ	500mm 以内	300 mmピッチ以内で 15 秒を標準とする
6	投入の高さ	1500mm 以内	ショベルのバケットから投入(横流し打設はせず、流れにくい箇所はスコップで投入する)
7	固定パイプ	20～30 秒	バケットから型枠底面までの高さ
8	棒パイプ	15～秒	生コン性状を目視確認しながら振動時間を調整する

## (2)供試体概要と養生条件について

試験体は、比較的大型のボックスカルバート等に使用される隔壁部を模擬し、図1のように1000mm(H)×2000mm(B)×200mm(T)とした。

非破壊試験(TorrentおよびSWAT)測定は、図2に示すように、測定対象面内の1600×600mmの範囲を200mm間隔で全24区画に区分けした全箇所で行った。

また、養生方法については大型プレキャスト製品の多くは製造後、常圧蒸気養生、脱型、気中養生の順で出荷材令まで保管されるため、実際の養生と同様の方法と、プレキャスト製品への適用が多く、初期の表層品質向上を目的として使用される塗膜養生剤を脱型後に塗布した場合の比較を行った。なお、本研究で使用した養生剤は、水性パラフィンを主成分とする養生剤である。

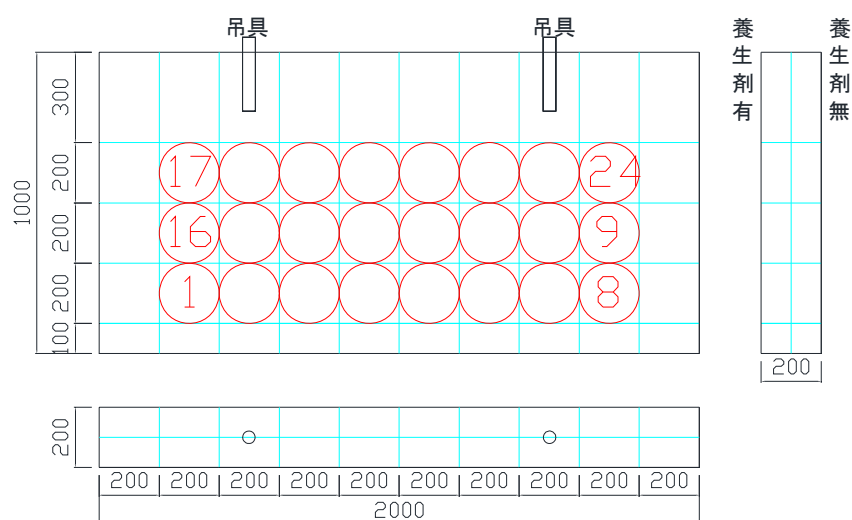


図1 非破壊試験供試体寸法

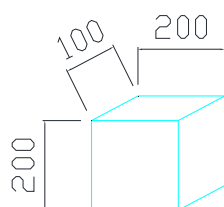


図2 耐久性試験供試体寸法

常圧蒸気養生条件を図3に示す。大型プレキャスト製品を想定し、1日1サイクルの蒸気養生条件に設定した。前置き時間は3時間とし、温度上昇速度は20℃/h、最高温度は65℃、最高温度保持時間は2時間、温度下降は自然冷却とした。コンクリート内温度が周辺温度と同程度になったことを確認した後、脱型を行った。その後、雨掛かりの無い屋外にて約8ヶ月間静置し、後述する試験を行った。なお養生剤を用いるものについては、脱型直後に塗布を行った。

試験開始までの養生条件を図4に示す。

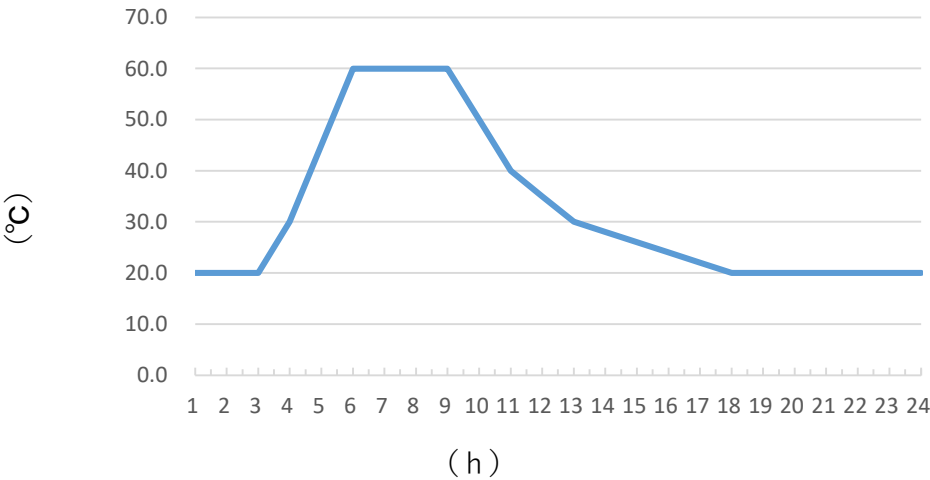


図3 常圧蒸気養生条件

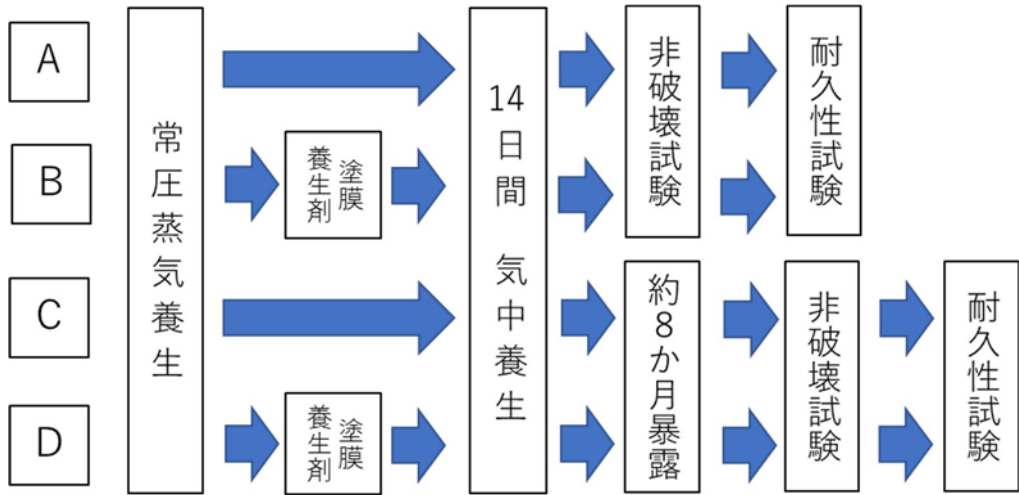


図4 養生条件まとめ

### (3)表層品質試験(表層透気試験：Torrent 法)について

コンクリート構造物のかぶりコンクリートは酸素や炭酸ガス、塩素イオンや水分など様々な外的劣化因子の侵入・拡散を抑制するための保護層としての機能を担っている。このことは、構造物の耐久性と密接に関係していると考えられており、このかぶりコンクリートの耐久性確認、つまりコンクリートの表層品質を確認することは、コンクリート構造物のメンテナンスに非常に需要である。また、実際の施工現場において多くの実績のあるトレント法による表層透気試験を行い、表層透気係数を求めることでコンクリート構造物表層部の密実性を評価することが可能である。

表層透気試験(トレント法<sup>5)</sup>)はダブルチャンバーの吸引によってコンクリート表層を真空状態にし、その後、真空ポンプによる吸引を停止し、チャンバー内の気圧が回復するまでの時間から式 1 を用いて一次元方向の表層コンクリートの透気性を完全非破壊で評価する手法である。表層透気係数  $kT(\times 10^{-16}m^2)$  が小さいほど表層が緻密であることを意味する。図 5 にトレント試験機の写真を、図 6 にトレント法の仕組みを表す。

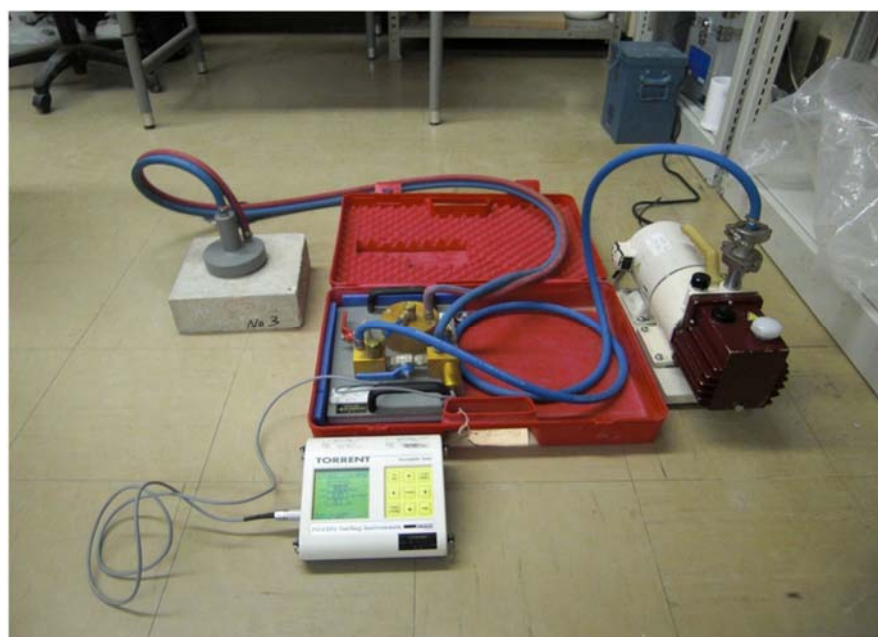
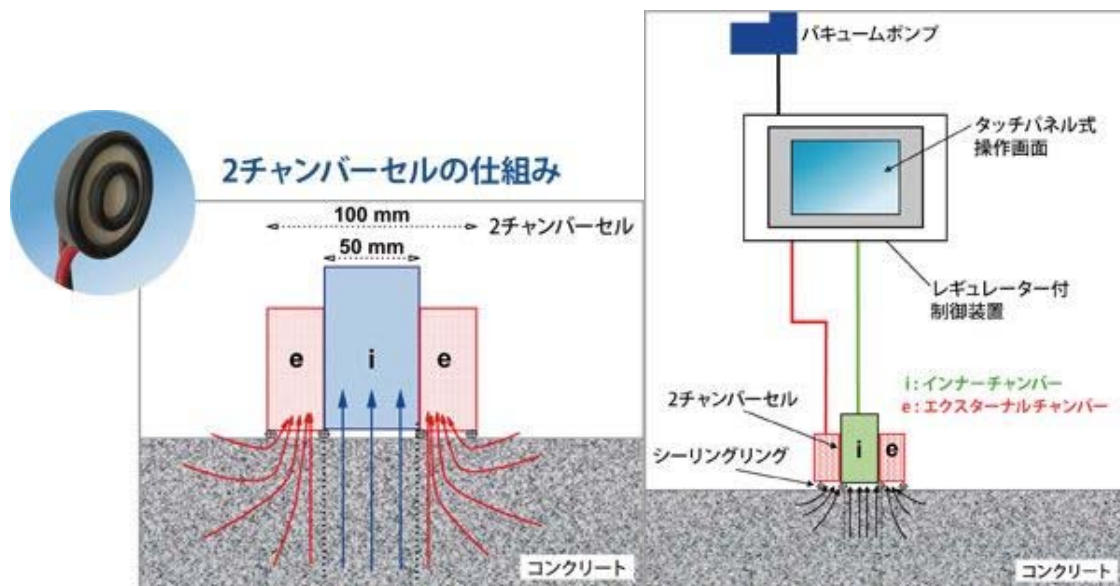


図 5 トレント試験機



(株)測機社 HP(<http://www.sokkisha.co.jp/business/survey/measurement/04.php>) より

図 6 トレント法の仕組み

表層透気係数の評価は下記の表 3 に則って行う。

表 3 表層透気係数評価指標

$[\times 10^{-16} \text{ m}^2]$

優	良	一般	劣	極劣
0.001～0.01	0.01～0.1	0.1～1	1～10	10～100

$$kT = \left[ \frac{V_C}{A} \right] \frac{\mu}{2\varepsilon P_a} \left[ \frac{\ln \left( \frac{P_a + \Delta P_t}{P_a} \right)^2}{\sqrt{t} - \sqrt{t_0}} \right]^2 \quad \dots \text{式 1}$$

$$L \approx \sqrt{\frac{2 \cdot kT \cdot P_a \cdot t}{\varepsilon \cdot \mu}}$$

$kT$ :トレント透気係数(m/sec)

$A$ : シリンダー断面積(m<sup>2</sup>)

$\mu$ : 動粘度(Nsm<sup>3</sup>)

$\varepsilon$ : コンクリートの空隙量(m<sup>3</sup>)

$L$ : トレント深さ値(mm)

$P_a$ : 大気圧(Nm<sup>-2</sup>)

$\Delta P_t$ : 時間  $t$  における圧力上昇(Nm<sup>-2</sup>)

$t$ : 試験終了時間(sec)

$t_0$ :60sec

使用上の注意点として、測定をコンクリート表面の微細なひび割れを有する箇所等で行ったり、打重ね線や打継目の上で行ったりする場合に、非常に大きな透気係数(品質が悪い)が得られる場合が少なくない。外気と連結した微細ひび割れや、コンクリート表面の不陸による隙間を通して、空気を吸引している可能性があることを知った上で、品質の評価に上手に活用する必要がある。また、全くの同一箇所でも時間間隔を開けずに繰り返し試験を行うと、コンクリート内の圧力が定常状態に戻っていないため、二度目に計測する時には表層透気係数が小さく測定されることが知られている。緻密なコンクリートでも 10 分程度でコンクリート内の圧力が通常状態まで回復すると言われている。

#### (4)表層品質試験(表面吸水試験：SWAT)について

SWAT<sup>6, 7)</sup>とは、円筒状のシリンダーがついた吸水カップをコンクリート表面に密着させ、吸水カップに水を満たした直後からシリンダー内の水位の変化を時々刻々読み取ることで、表層コンクリートの吸水速度を算出し評価する手法である。

図7の中央部の円形形状の吸水カップが測点である。小型コンプレッサーにより、測定コンクリート面に張りつけ、図8に見られるスタンドにより支持された固定フレームで吸水カップを固定する構造となっている。吸水カップおよびスタンドのついては測定コンクリート面の凹凸に密着できるような構造となっている。図9に示すように吸水カップに接続されたシリンダーに、給水タンクより水を入れと、初期水頭が測定面中心に対して300mmとなり、測定面の吸水とともに水頭が下降する。

吸水による水頭減少はセンサーによって圧力検知され、0.5秒毎に自動計測される。試験開始後およそ600秒、すなわち10分で表面吸水量が求められる。ここで求められたコンクリートの吸水速度  $p600(\text{ml/m/s})$  で評価を行う。

$p600$  の吸水速度は下記の表4に示す3段階で評価される。

表4 吸水速度評価値

良	一般	劣
$\leq 0.25$	$0.25 \sim 0.5$	$< 0.5$

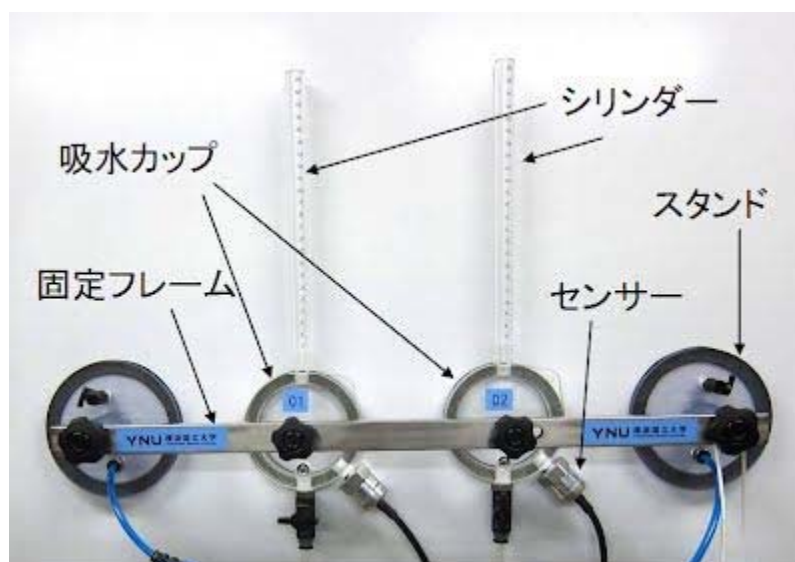


図7 SWAT 試験機 1





図 8 SWAT 試験機 2

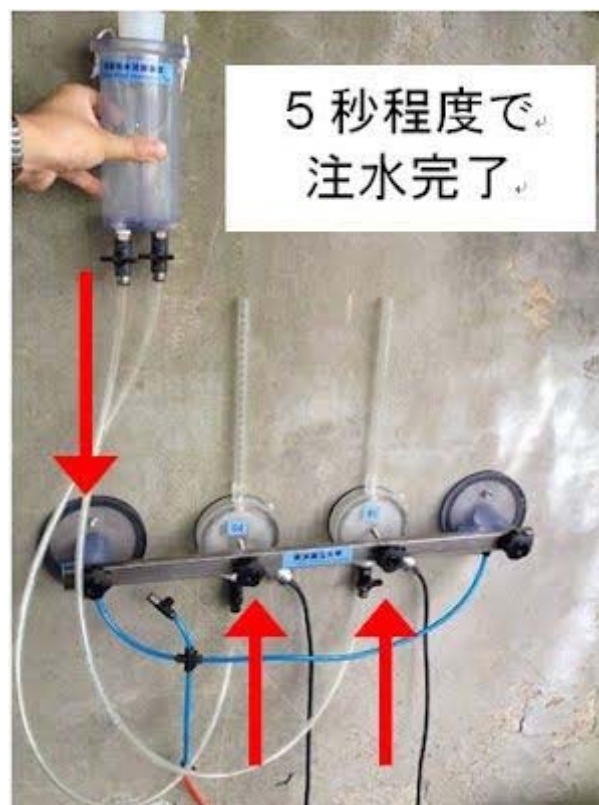


図 9 SWAT 試験機 3

<https://sites.google.com/site/concreteswat/>より

## (5)試験結果

Torrent 法による透気試験結果のコンター図を図 10 から図 13 に、箱ひげ図として図 18 から 21 に示す。コンター図は面的分布を、箱ひげ図は横軸に測定箇所を、縦軸に試験により得られた表層透気係数を示している。横軸の測定箇所は、全 24 箇所のほか、測定箇所の上・中・下段の各箇所における結果を示している。なお、図中の×印はそれぞれの平均値を示している。図 10 と図 11 および図 12 と図 13 を比較、また、図 18 から図 21 の箱ひげ図の結果より、図 18 の養生剤を使用しない面は、 $0.023\sim0.5\times10^{-16}\text{m}^2$ 、図 19 の養生剤を使用した面については、 $0.015\sim0.4\times10^{-16}\text{m}^2$  という結果となり、養生剤使用の有無によらず、平均値として  $0.1\times10^{-16}\text{m}^2$  程度となった。しかし、各々の分布を見ると、2 ケース共に、上段ほど透気係数が大きく、下段ほど小さい値を示すという傾向が確認され、8 か月間暴露した後の結果を見ると、その傾向が顕著になっていることが確認される。これはコンクリート打込み時に下段ほど自重により圧密され密実になっているためと考えられる。このことは既往研究<sup>例えば、8)</sup>においても多く報告されている。

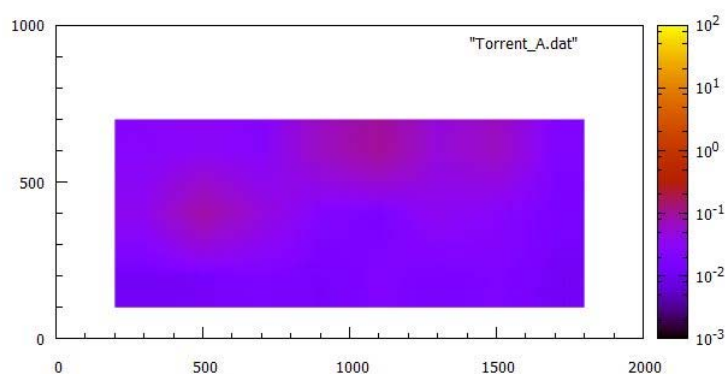


図 10 Torrent 試験結果 養生剤無

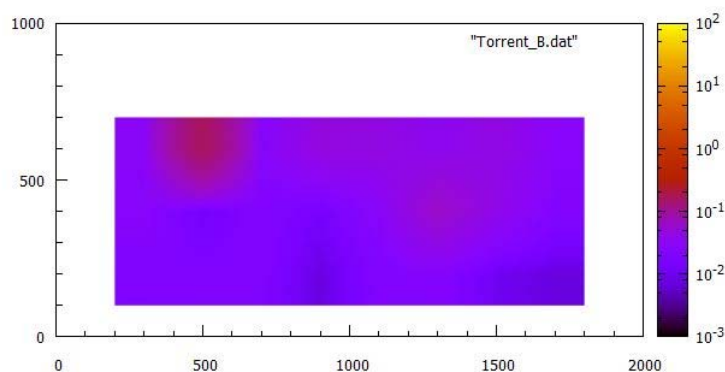


図 11 Torrent 試験結果 養生剤有

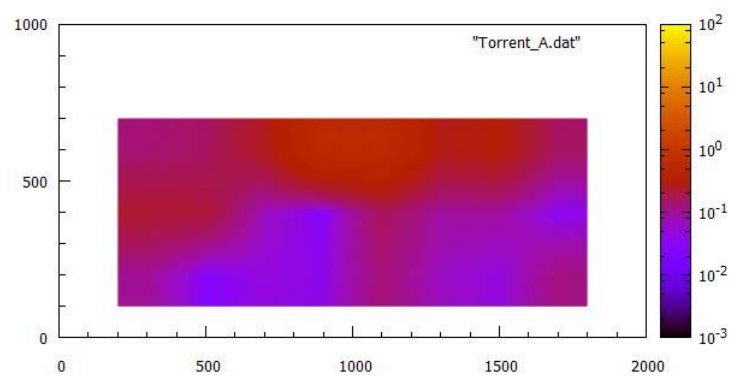


図 12 Torrent 試験結果 養生剤無(8 か月暴露)

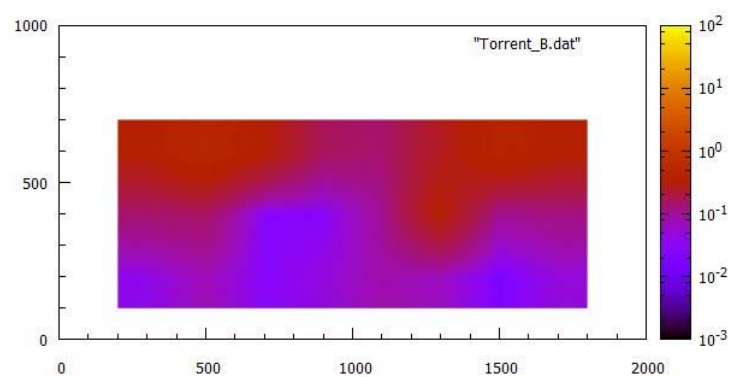


図 13 Torrent 試験結果 養生剤有(8 か月暴露)

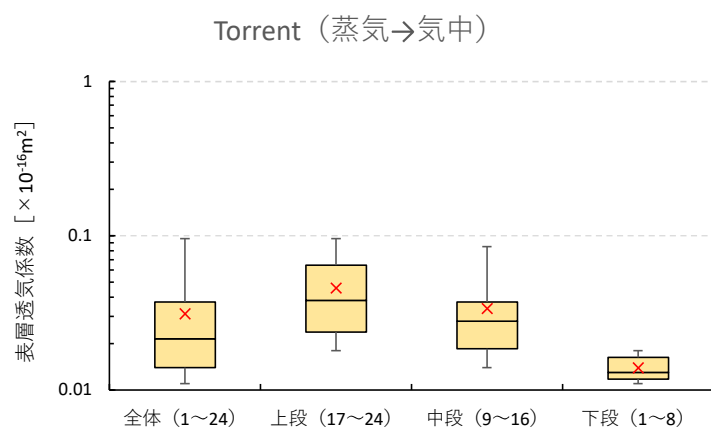


図 18 Torrent 試験結果箱ひげ図 養生剤無

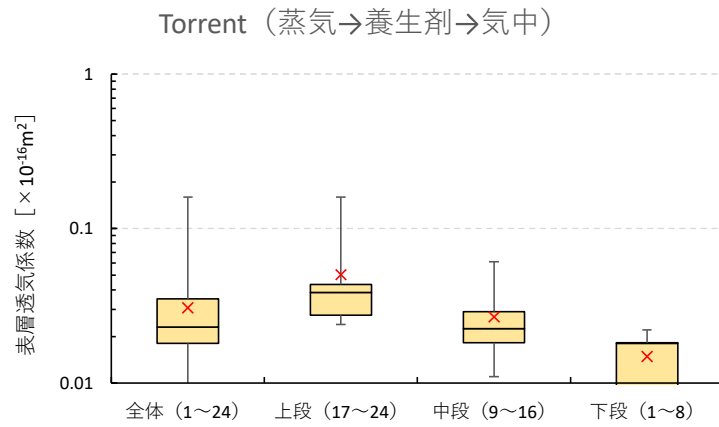


図 19 Torrent 試験結果箱ひげ図 養生剤有

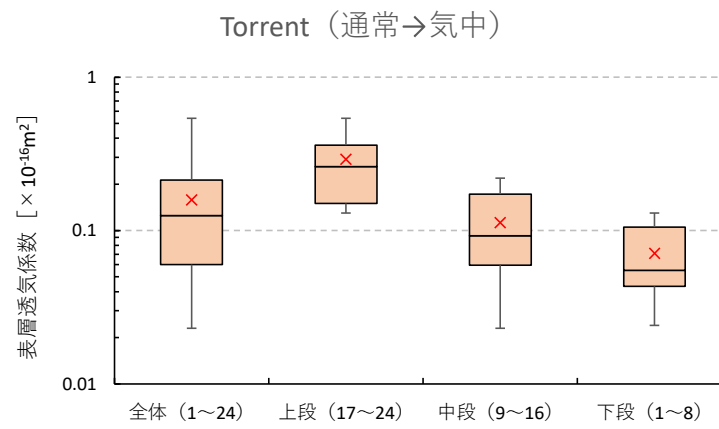


図 20 Torrent 試験結果箱ひげ図 養生剤無(8 か月暴露)

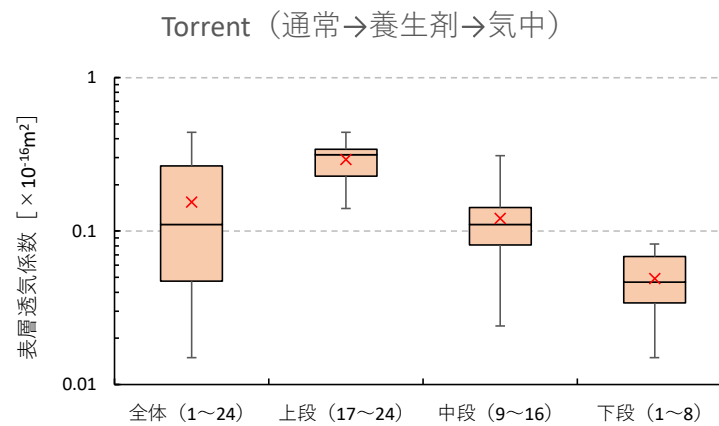


図 21 Torrent 試験結果箱ひげ図 養生剤有(8 か月暴露)

SWAT による表面吸水試験結果のコンター図を図 14 から図 17 に、箱ひげ図として図 22 から図 25 に示す。コンター図は **Torrent** 法と同様に面的分布を、箱ひげ図の縦軸は表面吸水速度を示しており、図中の×印は平均値を示す。養生剤使用の有無によらず、表面吸水速度は概ね  $0.1\text{ml/m}^2/\text{s}$  程度であり、養生剤を用いた際に下段ほどやや小さな値を示す傾向が認められるものの、表層透気係数ほどの測定箇所による大きな差は確認されなかった。

表層透気係数、表面吸水速度はいずれも硬化体表層部の含水状態や空隙構造の影響を受けやすいものであるが、本研究で用いた試験体の表面含水率は、高周波容量方式の水分計で測定したところ、いずれも  $4.0\% \sim 4.5\%$  と概ね一定であったことから、主として空隙構造が両試験の傾向の差として表れたものと考えられる。つまり、両試験法に影響を及ぼす空隙径が異なることが、箱ひげ図で示す傾向の違いとして表れたものと推察され、本研究の範囲内では、表層透気係数の方が表層品質の分布を敏感に捉えられるものと考えられる。

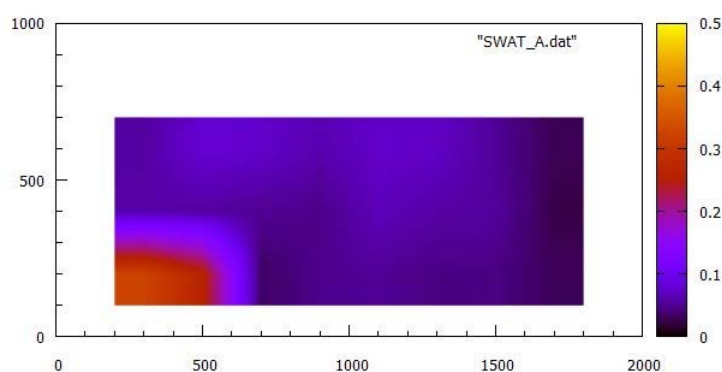


図 14 SWAT 試験結果 養生剤無

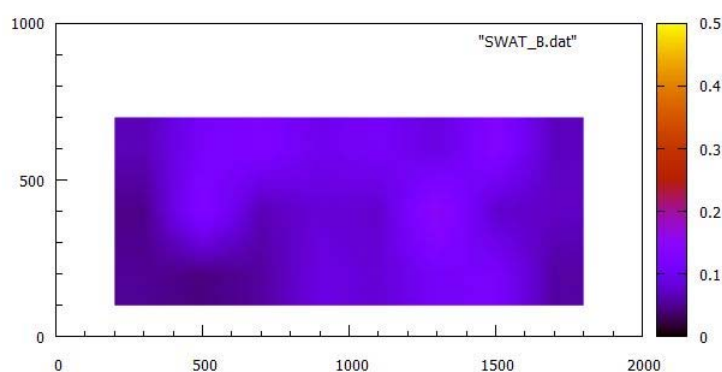


図 15 SWAT 試験結果 養生剤有

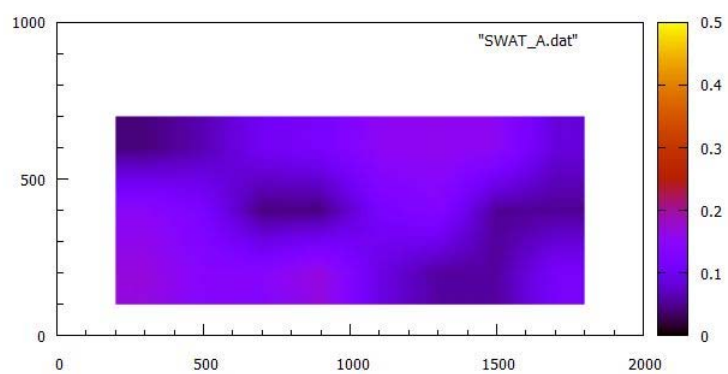


図 16 SWAT 試験結果 養生剤無(8 か月暴露)

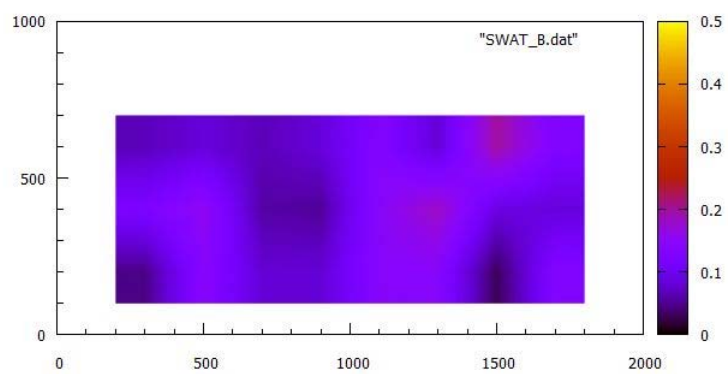


図 17 SWAT 試験結果 養生剤有(8 か月暴露)

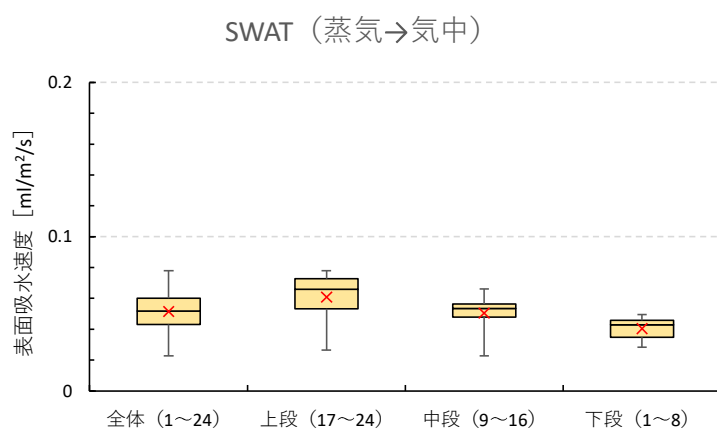


図 22 SWAT 試験結果箱ひげ図 養生剤無

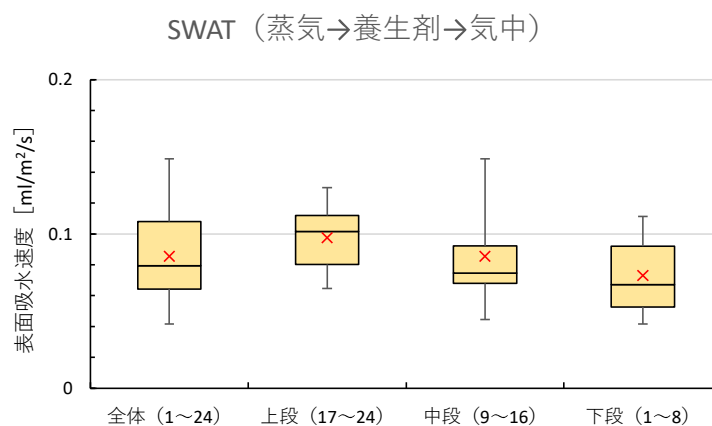


図 23 SWAT 試験結果箱ひげ図 養生剤有

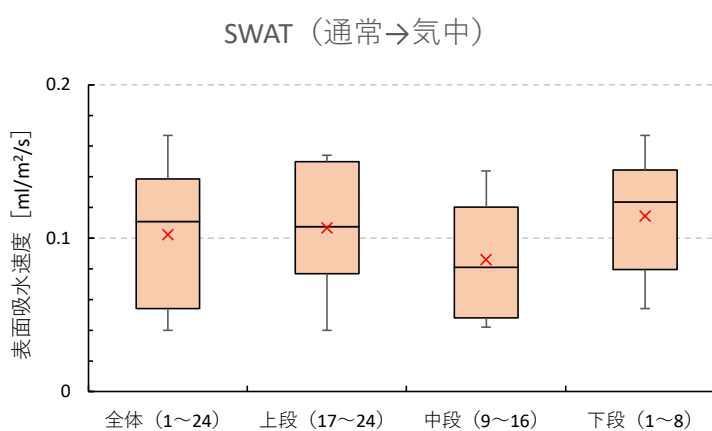


図 24 SWAT 試験結果箱ひげ図 養生剤無(8 か月暴露)

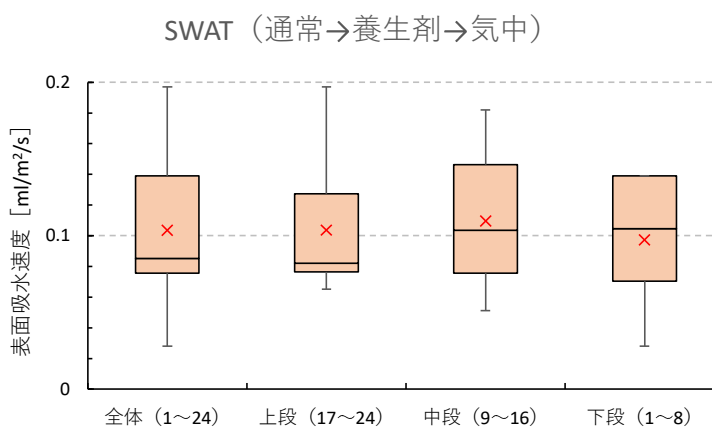


図 25 SWAT 試験結果箱ひげ図 養生剤有(8 か月暴露)

次に測定数における結果のばらつきについて検討を行う、通常、表層透気係数や表面吸水速度の測定は、測定対象面に対して、任意に抽出した 3～5 箇所での測定が行われる。一方で、前述のように、同一対象面内であっても、測定箇所による結果の差が大きい場合がある。面的ばらつきの差が大きいと実際のコンクリート構造物においては、耐久性の低い箇所から劣化現象が発生する。これまでの試験頻度で測定結果の代表値を定めたとしても、面的ばらつきの差が大きいと、試験結果(代表値)と実際のコンクリート構造物において耐久性の評価に乖離が生じる恐れがある。そのため、測定対象面に対して、その代表値を得られるように適切な測定数を設定することが必要になると考えられる。

そこで、各非破壊試験における測定点数と測定結果(平均値)の変動について検討した結果について、Torrent 法を図 26 から図 29 に、SWAT について図 30 から図 33 に示す。図中の縦軸は、表層透気係数あるいは表面吸水速度を、横軸は測定結果の平均を求めるために用いた測定点数を示している。また、図中の×印は測定対象範囲内より任意の測点数(箇所数)を抽出し平均を求める作業を 10 回繰り返した際のそれぞれの結果を示している。また、図中の赤線は各測点数で 10 回求めた平均値の最大・最小値を、青線は測定対象面内における全 24 箇所の平均値を示している。

ここで、測定対象面内全 24 箇所における平均値を、対称面における表層品質を示す代表値と仮定すると、表層透気係数、表面吸水速度いずれも、測定点数が少ないほど平均値のばらつきが大きく、測定点数を増加させることで、全 24 箇所の平均値に漸近することが確認される。平均値の標準誤差をどの程度まで許容するかは今後更なる検討・議論が必要ではあるものの、本研究の範囲内では、9 箇所程度以上の測点、つまり測定対象面の 4 割程度以上の測定箇所を確保することにより、対象面の代表値とすることが可能であると考えられる。



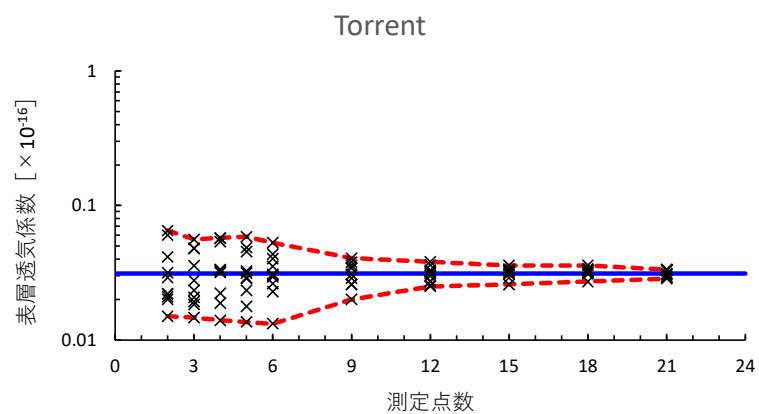


図 26 Torrent 法における測定点数と面的ばらつきの関係性(養生剤無)

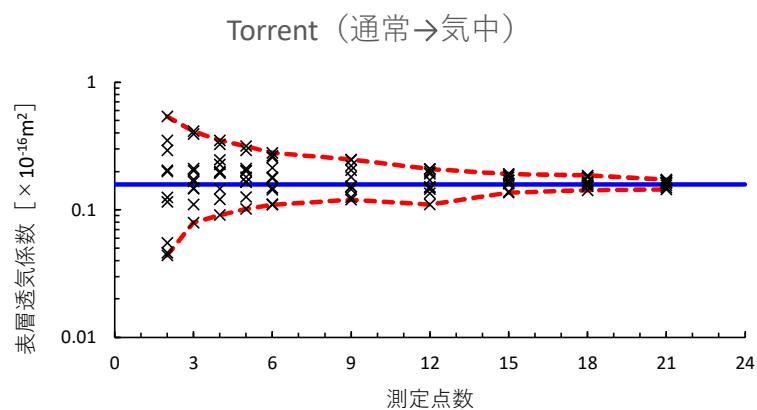


図 27 Torrent 法における測定点数と面的ばらつきの関係性(養生剤有)

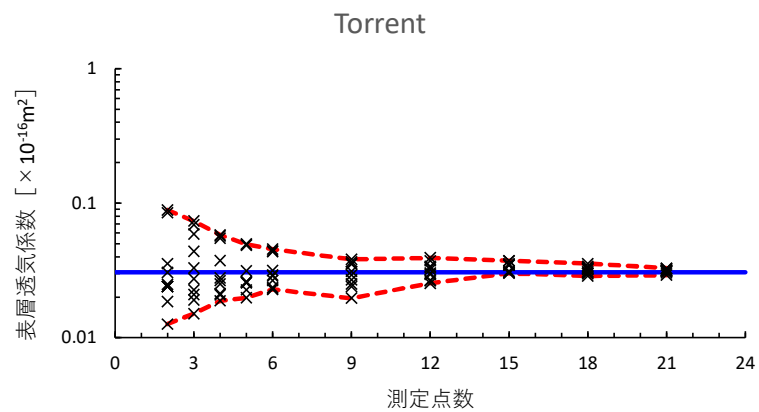


図 28 Torrent 法における測定点数と面的ばらつきの関係性(養生剤無・8 か月暴露)

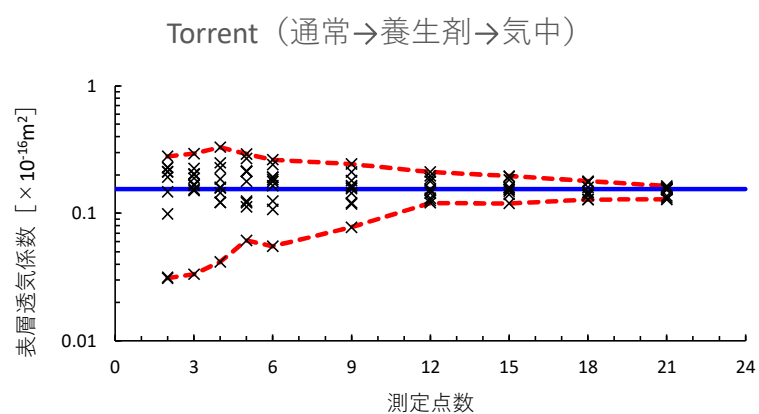


図 29 Torrent 法における測定点数と面的ばらつきの関係性(養生剤有・8か月暴露)

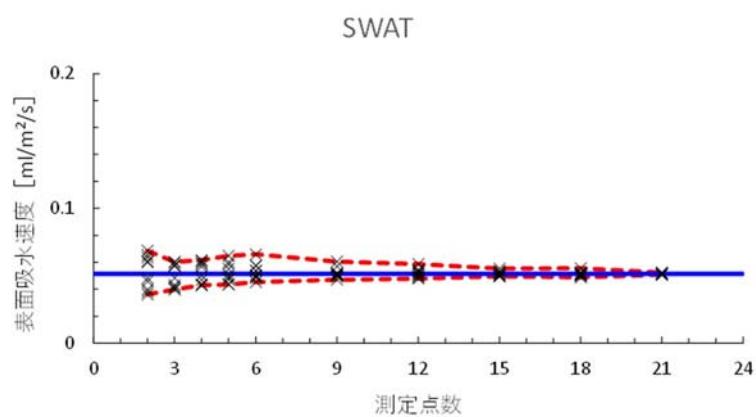


図 30 SWAT における測定点数と面的ばらつきの関係性(養生剤無)

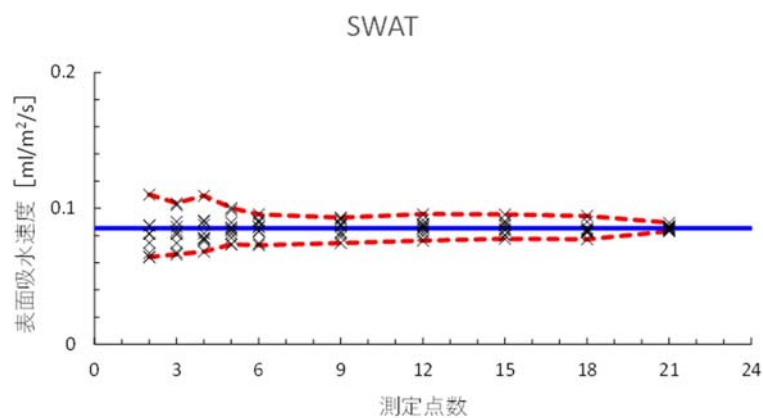


図 31 SWAT における測定点数と面的ばらつきの関係性(養生剤有)

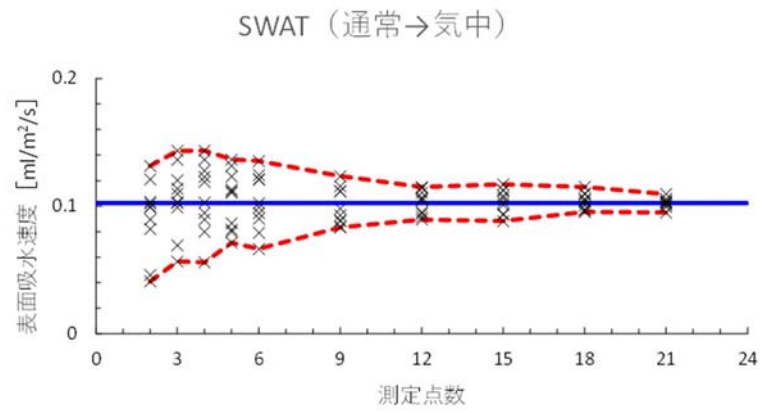


図 32 SWAT における測定点数と面的ばらつきの関係性(養生剤無・8 か月暴露)

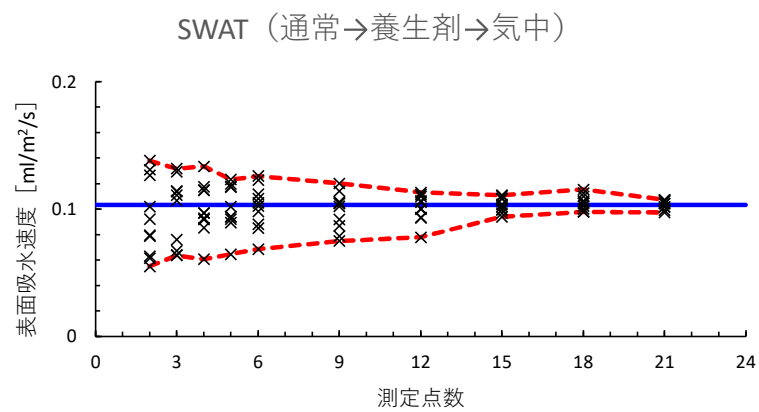


図 33 SWAT における測定点数と面的ばらつきの関係性(養生剤有・8 か月暴露)

### 4.3 表層品質と耐久性試験の関連性について

#### (1) 耐久性試験の概要と試験方法について

非破壊試験に用いた試験体を切断・整形し、スケーリング抵抗性および塩分浸透性試験を行った。いずれも、非破壊試験を実施した面を測定対象面とし、側面は防水アルミテープでシールした。なお、スケーリング試験には、図 1 に示した供試体の下段 4～5、中段 12～13、上段 20～21 の 6 体を、塩分浸透性試験には、下段 7～8、中段 9～10、上段 23～24 の 6 体を用いた。

スケーリング抵抗性試験は、JSCE-K572 に準拠し、温度条件：+20～-20℃、1 日 2 サイクルの凍結融解サイクルにより、60 サイクルまで 6 サイクルごとにスケーリング片の測定を行い、累加スケーリング量で評価を行った。

塩分浸透性試験は、10%NaCl 溶液に浸せきした後、供試体を割裂し、硝酸銀噴霧による塩化物イオン浸透深さによって評価を行った

#### (2) スケーリング抵抗性と塩化物イオン浸透試験の耐久性試験結果

凍結融解 60 サイクル終了時の累加スケーリング量を図 34 に示す。養生剤使用の供試体における累加スケーリング量は約  $0.60\text{kg/m}^2$  であり、養生剤を使用しない供試体では約  $0.55\text{kg/m}^2$  で、養生剤の有無による明確な差異は確認されなかった。

図 35 に塩化物イオン浸透深さの結果を示す。図中の棒グラフは 6 体の平均値を、エラーバーは最大・最小値を示している。養生剤の有無によらず、塩化物イオン浸透深さは同程度の値を示すことが確認された。

ここで、各種耐久性試験結果と、その供試体を採取した位置における非破壊試験による表層品質との関係について検討を行った。耐久性試験に用いた供試体採取位置の表層透気係数は、 $0.025\sim 0.5\times 10^{-16}\text{m}^2$  と測定位置による明確な差が認められたものの、各耐久性試験結果と表層透気係数の間には、明確な関係性は認められなかった。これは既往研究<sup>9)</sup>においても同様の報告がされている。なお、表層透気係数と塩化物イオン浸透深さの相関関係が認められないことについても、既往研究<sup>例えば、10)</sup>においても同様の報告がされている。

一方、図 36 に示すように、スケーリング量と表面吸水速度については、表面吸水速度の増大に伴い、スケーリング量は同等、もしくは著しく大きい箇所も確認された。また、図 37 に示すように塩化物イオン浸透深さとの関係については、表面吸水速度が大きいほど、塩化物イオン浸透深さも大きいことが確認された。

上述までの検討結果より、表層透気係数は測定箇所による差が明確に表れるものの、本研究の範囲内では耐久性との関連は明確に確認されなかった。しかしながら、既往研究<sup>11)</sup>などでは水セメント比等の影響はあるものの透気係数との関係性があるものも報告されている。本研究ではプレキャスト製品を想定し水セメント比が低めに設定しているためではないかと推測

される。一方で、表面吸水速度は測定箇所による差が少ないものの、耐久性との関連性があることが確認された。これは主として、本研究で検討した耐久性試験の劣化要因に起因するものと考えられる。つまり、塩化物イオン浸透、スケーリングいずれも水の移動が影響要因であるため、表面吸水速度の変動と密接に関係していると考えられる。

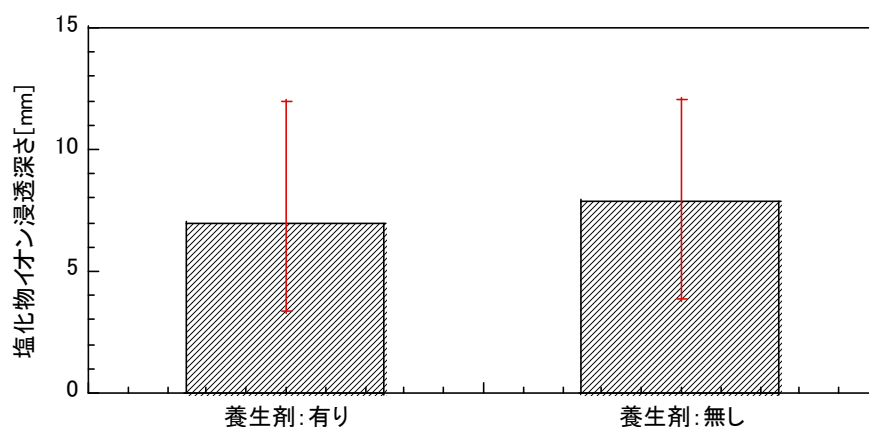


図 34 スケーリング試験結果

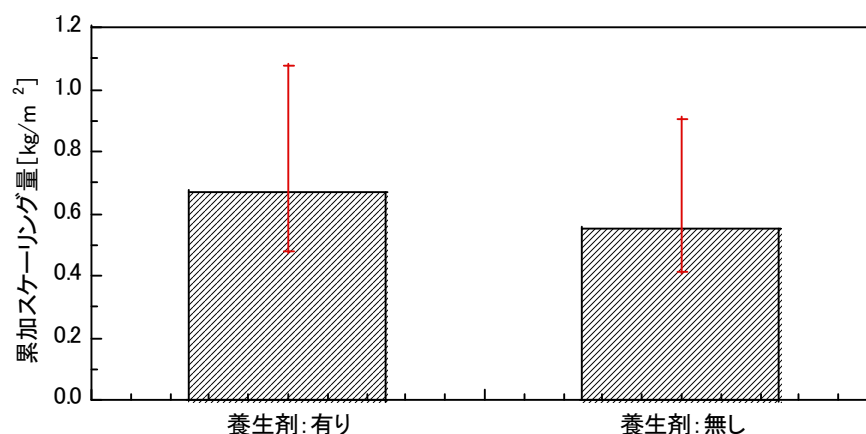


図 35 塩化物イオン浸透深さ試験

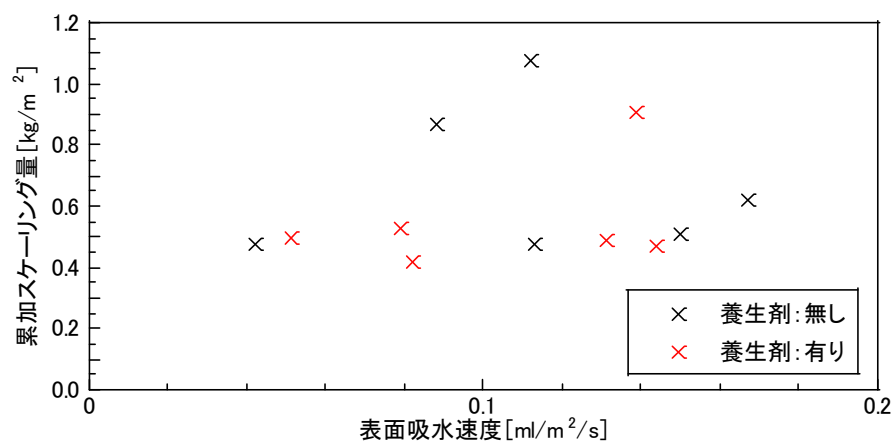


図 36 スケーリングと表面吸水速度の関係

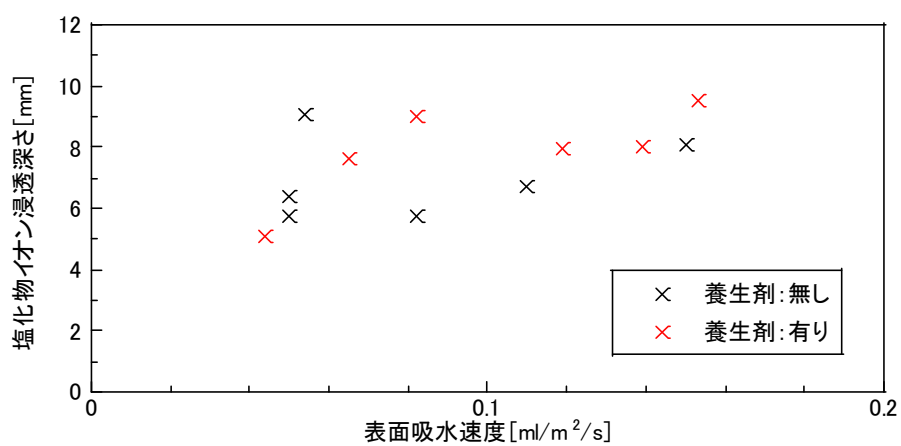


図 37 塩化物イオン浸透深さと表面吸水速度の関係

## 4.4 まとめ

- ・表層透気係数は、測定箇所、特に上・中・下段による差が明確に示される一方で、表面吸水速度は測定箇所の違いによる差が少ない。

- ・表層透気係数、表面吸水速度ともに測定対象範囲の 4 割程度を確保できる測定数により、対象面の代表値(対象面全体の平均値)に漸近する。

- ・養生材使用の有無によらず、測定箇所の違いが耐久性に及ぼす影響は少ない。

- ・表面吸水速度が大きいと塩化物イオン浸透深さは大きくなり、スケーリング量については同等、もしくは著しく大きい場合もあることから、表面吸水速度が耐久性に及ぼす影響は大きい

以上の結果より、大型プレキャスト製品の表層透気係数については下段ほど密実で透気係数が低いことが確認された。しかしながら、表面吸水速度は製品の高さ方向における分布傾向は、表層透気係数と比較し少ない。8 か月間暴露した後の結果と比較すると、初期品質の分布傾向と類似しているものの、それらの際が顕著になっていることが確認された。これらのことから、表層品質を定量的に評価するためには、対象面の上方向において対象範囲の 4 割程度を確保して評価することで、耐久性評価として安全側になると推測される。

・参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書〔施工編〕，2017
- 2) 全国ボックスカルバート協会：プレキャストボックスカルバート設計施工マニュアル，2011
- 3) 石澤正大,佐々木亘,藤岡泰輔,大野寛太,斯波明宏,浅井 宏隆：三井住友建設技術研究開発報告 Technical research report of Sumitomo Mitsui Construction / 三井住友建設株式会社技術本部技術研究所 編 (13), 41-47, 2015,三井住友建設技術本部技術研究所
- 4) 下津達也,田口明勇,横山秀喜,平山晃央：鉄道高架橋における表層品質測定結果について，土木学会第 70 回年次学術講演会論文集,VI-377,2015,9
- 5) R.J.Torrent：A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site, Material and Structures, 25,pp.358-365,1992
- 6) 林和彦,細田暁：コンクリート実構造物に適用できる表面吸水試験方法の開発：コンクリート工学年次論文集 Vol.33,No.1, 2011
- 7) 笠井和弘,寺沢正人,川里麻莉子：表面吸水試験におけるコンクリート表層品質の評価について,2013 土木建設技術発表会,2013.11
- 8) 小野聖久,上東泰,紫桃孝一朗,原島実：コンクリートの密実性評価に関する研究,土木学会第 57 回年次学術講演会論文集,pp1043-1044,2002.9
- 9) 林亮太,樋原弘貴,添田政司,深見桜：透気係数による実構造物の物質移動抵抗性および外観変状との関係性に関する研究,土木学会論文集 E2(材料・コンクリート構造),Vol. 76, No. 4, 332 - 348, 2020
- 10) 野島昭二,渡邊晋也,藤原貴央,谷倉泉：透気係数を用いたコンクリートの品質評価と測定条件に関する実験的研究,コンクリート工学年次論文集,Vol.36,pp2134-2139,2002
- 11) 権代由範,月永洋一,阿波稔,迫井裕樹：吸引鐘を用いたコンクリートの簡易透気試験法に関する基礎的検討とスケーリング抵抗性評価への適用の試み:日本建築学会構造系論文集 第 77 巻 第 678 号, 1193-1202, 2012 年 8 月 J. Struct. Constr. Eng, AIJ, Vol. 77 No. 678, 1193-1202, Aug, 2012



## 5 章 大型プレキャストボックスカルバートの延長連結による構造物一体性の検討

### 5.1 研究背景

プレキャストボックスカルバートは、現場打設に比較し品質や工期において優れているため、工期に制約のある寒冷地や、迅速な建設が要求されている復興道路において多くの施工実績がある。また、昨今ではSDGsの中の持続可能な開発目標として、高品質なものを長期間使用していくことや、プレキャスト製品を使用しインフラ整備事業の一翼を担うことができる。このような時代背景の中、プレキャスト製品の需要や、有効活用の幅を広げるための研究が盛んにおこなわれている<sup>1)</sup>。

中でも大型プレキャストボックスカルバートは、運搬の制約などから一定長さのボックスを縦方向に多数接続させて一連の構造物としての機能を果たしている<sup>2)</sup>。小規模橋梁の代替工法として活用する場合、水路や河川を跨ぐ橋梁としてだけでなく、跨線橋や跨道橋としての利用もあり、2章の橋梁の規模の検討においても人口規模が小さい自治体、すなわち山林や農道などが多い地域においては跨道橋や水路橋において縦断勾配が大きい箇所も多い。

大型プレキャスト製品の延長方向連結には一般的にPC鋼棒による連結が施されるが、近年、全国的に図1に示すようなプレキャストボックスカルバートが設置される縦断勾配が大きい箇所において、目地部からの漏水やひび割れなどの変状が発生している事例が報告<sup>例えば3)</sup>されている。一体性が不十分であれば、水路管渠の場合には漏水に誘発される、2016年11月に発生した福岡県福岡市博多駅前で発生したような、土砂の流出などによる道路陥没に繋がる危険性がある。

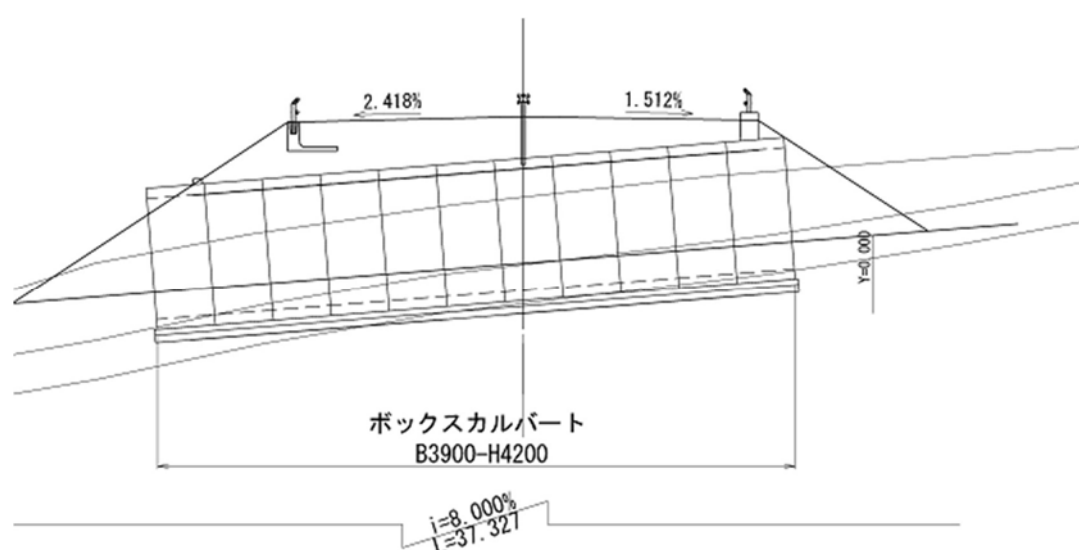


図1 参考現場図面



図 2 目地のずれ状況



図 3 ひび割れと漏水状況

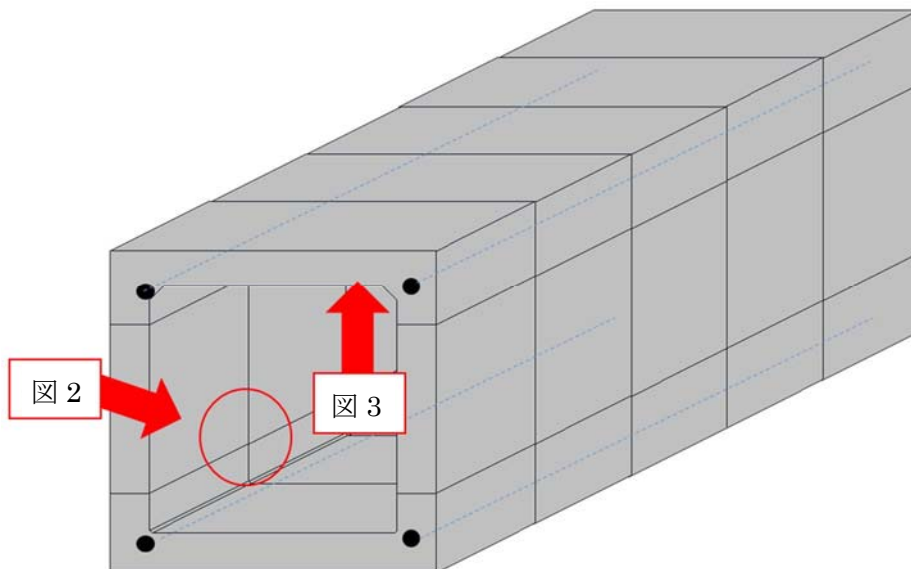


図 4 変状写真位置図

図 2、図 3 の写真は図 4 の位置より撮影したものであり、図 1 に示すような縦断勾配下で施工されたプレキャストボックスカルバートが上部道路の供用開始後、縦断方向に転倒する方向にずれ、製品間の目地部がずれたもの、また、そのずれから漏水しているものである。

縦断勾配についての制約や考え方については約 10%程度まで設置可能という記載が示方書等<sup>4)</sup>にもあるが、設計方法や施工方法については明確になっておらず、縦断勾配下におけるプレキャストボックスカルバートについての縦方向の力学的挙動は明確となっていないのが現状である。

ボックスカルバートが施工される現場には、高土被りや縦断勾配の有無など様々な現場特有の条件が存在する。今回はその中でも、小規模橋梁の代替工法とする場合、PC 緊張を施した一体性の確認と縦断勾配が大きい現場においても PC 緊張力の調整にて一体性を保つことが可能であるか検討する。

既往研究<sup>例えば 5,6)</sup>にて、以下の点を確認している。

- ・縦断勾配下の現場で発生している転倒のような挙動について、実験室レベルで再現可能であること
- ・延長方向の供試体数についても全体を 5 ブロックで試験することで、現場での発生事象を再現可能であること
- ・所定の緊張力を付与することで構造物全体の一体性向上に寄与していること
- ・縦断勾配が大きくなるにつれて耐荷性能が低下すること
- ・供試体を平板形状で行っても、ボックスカルバートを模擬した供試体と比較しても、全体の挙動には、大きな影響がないこと

以上の予備実験より、前提条件を設定しての検討を行った。

併せて、検討対象を大型の分割式プレキャストボックスカルバートとしているが、本来であれば図 5 のように断面方向に数ピースの部材に分割されている。しかしながら、既往の研究<sup>7)</sup>により、分割部に図 6 に示すような機械式継手を採用することで、断面全体を剛体とみなすことができるという評価がされているため、本検討でも既往研究の成果を踏襲し、分割面を設けない供試体にて検討を行っている。

しかしながら、実験モデルに対しての応力状態や延長連結に対する検討は十分ではない。そこで本研究では発生する応力と縦断勾配の関係性の基礎的検討、延長方向の連結で用いられる PC 緊張力の基礎的検討を行い、構造物の縦断方向(延長方向)の一体性を確保するための知見とすることを目的とする。

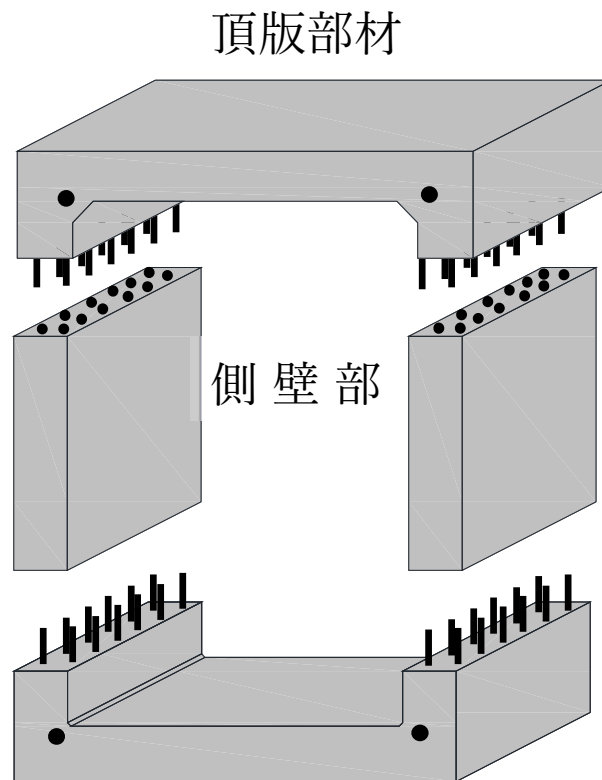


図5 大型分割式プレキャストボックスカルバート概略図



(日本プライススリーブ(株)HP より)

図6 機械式継手写真

## 5.2 載荷重試験による延長方向の一体性の実験概要

本実験は、前述の前提条件を踏まえ、PC 緊張量を変化させることで変状を抑制することが可能なのか、また現場打ちの函渠と比較・検討を行うため載荷試験を実施した。

### (1) 供試体概要について

実験に用いた供試体の寸法を図 7 に示す。プレキャスト想定供試体の寸法は(B)200 mm×(H)200 mm×(L)40 mmであり、モルタル製の平板供試体である。また現場打ちを想定した供試体はプレキャスト部材を想定した前述の供試体を 5 個並べた(B)200 mm×(H)200 mm×(L)200 mmの寸法サイズの供試体を作成した。

供試体の材齢は打設完了後、通常のプレキャスト製品と同様に蒸気養生を行い、その後、気中養生をし、強度発現が収束状態になるのを確認し、試験開始とした。

なお、試験に使用する供試体は、W/C = 36.4 %、 $f'_{ck} = 40\text{N/mm}^2$ とした。

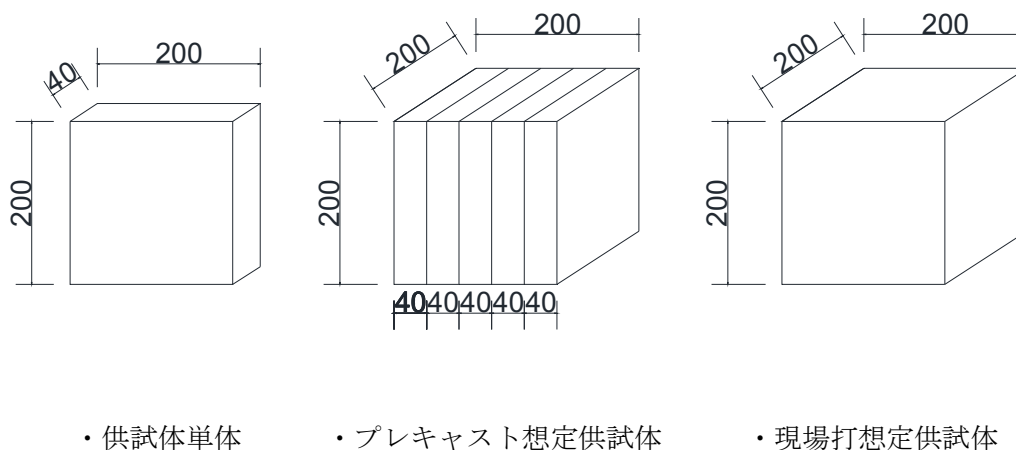


図 7 供試体概要

### (2) 載荷試験方法

本研究で使用する供試体の耐力と挙動を把握するため載荷試験装置に勾配 0%、5%および 10%の図 8 のような傾斜治具を設置し、等分布荷重が作用するよう載荷試験を行った。本研究で使用する PC 緊張力は、既往研究<sup>3)</sup>と同様の考え方とし、実際の部材重量を引き寄せることが可能な PC 緊張力を 100%と定義する。これは実際の現場にて使用している緊張荷重算出式と同様の考え方である。供試体サイズに相当する緊張荷重を、鋼材のひずみ管理により調整し、作用させた。緊張力を 100%、75%、50%、32%、17%、8%、0%の緊張量を低減させて試験を行った。実験ケースを表 1 に示す。

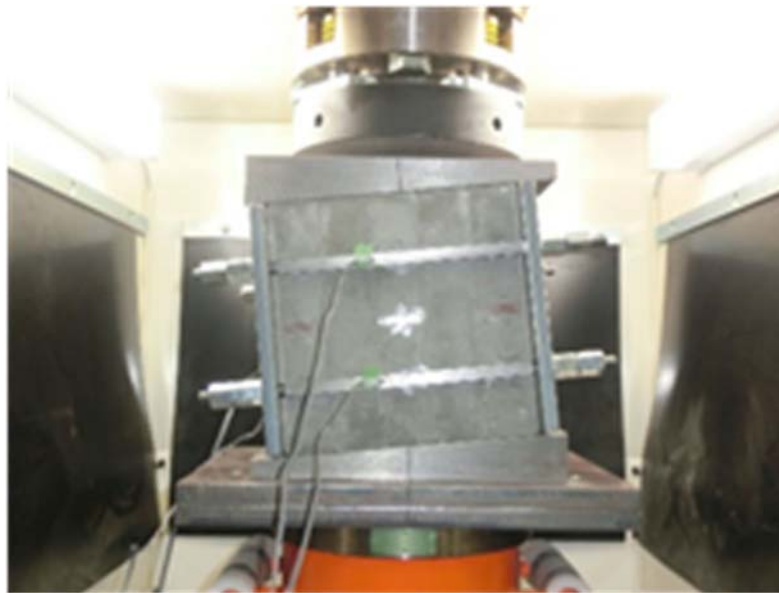


図 8 傾斜治具と鋼材配置状況

表 1 PC 緊張力のケースについて

	緊張量 (%)	設置勾配 (%)		
		0	5	10
現場打想定				
	0	1_00_t0	—	1_10_t0
	100	—	—	1_10_t100
プレキャスト想定				
	0	5_00_t0	5_05_t0	5_10_t0
	8	5_00_t8	5_05_t8	5_10_t8
	17	5_00_t17	5_05_t17	5_10_t17
	32	5_00_t32	5_05_t32	5_10_t32
	50	5_00_t50	5_05_t50	5_10_t50
	75	5_00_t75	5_05_t75	5_10_t75
	100	5_00_t100	5_05_t100	5_10_t100
	150	5_00_t150	5_05_t150	5_10_t150

表 1 中の凡例は、現場打想定であれば供試体数“1”、プレキャスト想定であれば“5”として、“供試体数\_縦断勾配\_PC 緊張量”の組合せで表している(例；プレキャスト想定供試体の縦断勾配 5%、緊張量 75%であれば“5\_05\_t75”と表す)。

PC 緊張量の管理については、PC 鋼棒による延長連結を想定し、実験では 10 mm×10 mmの鋼材を使用し、鋼材表面に貼付したひずみゲージを用いて測定した鋼棒のひずみ量により緊張量を調整した。最大圧縮強度、供試体の挙動について考察と検討を行った。

### (3)PC 緊張力と最大荷重の関係と考察

緊張力を変化させた最大荷重の変化と一体物の供試体の最大荷重の比較を図 9 に示す。縦軸に最大圧縮荷重、横軸に縦断勾配を表す。緊張量 150%を除く、すべての勾配のケースで緊張力を付与することで最大荷重の増加がみられた。このことからプレキャスト製品であっても、一体性を確保することで、現場打とほぼ同等、もしくは、それ以上の耐荷性能があると考えられる。PC 緊張力の変化を折れ線グラフに示したものを図 10 に表す。この結果より、50%以上の PC 緊張力を付与した場合とそれ以下の緊張力では、50%付近に境界ラインが散在するのではないかと推測される。

縦断勾配が大きくなることで耐荷力が低下すること、PC 緊張力を付与することで縦方向の一体性が向上することは予備実験で明らかになっていたが、これまでの緊張力を 50%程度まで低下させたとしても、ほぼ同等の効果を得られることが確認された。予備実験における載荷試験終了後の写真の一部を図 11 から図 16 に示す。図 11 から図 13 は PC 緊張力を付与しない場合であり、図 14 から図 16 については PC 緊張力を付与した場合である。これらの予備実験写真と図 9 の最大荷重の結果より、PC 緊張力を付与することで全体の一体性が向上することが確認できる。また、載荷後の写真、図 12 および図 13 を見ると縦断勾配の上流側の損傷が大きいことが確認できる。このことから、縦断勾配下の変状は上流側が変状発生の起因となっていることが推測される。

また、図 9 および図 10 の結果より緊張量について、一定の緊張量があれば PC 緊張による一体性向上の効果が認められることが確認でき、現場打想定供試体についても、最大荷重は緊張力を付与することで勾配の増加に対応し、ほぼ同等の耐荷性能を有することが確認できた。一方で緊張力 150%を作用させた際に、最大荷重が低下する傾向が確認された。緊張量 0%と 150%での載荷実験後の写真を図 17、18、19 および 20 に示す。

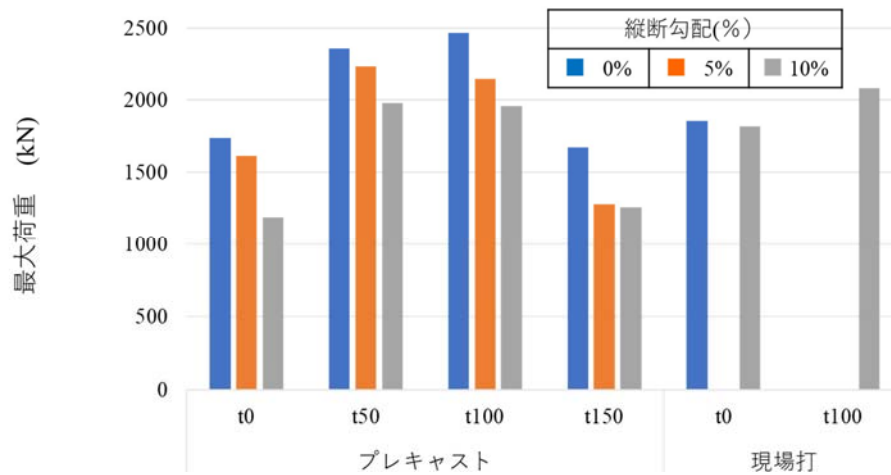


図9 PC 緊張力の付与による最大荷重の変化

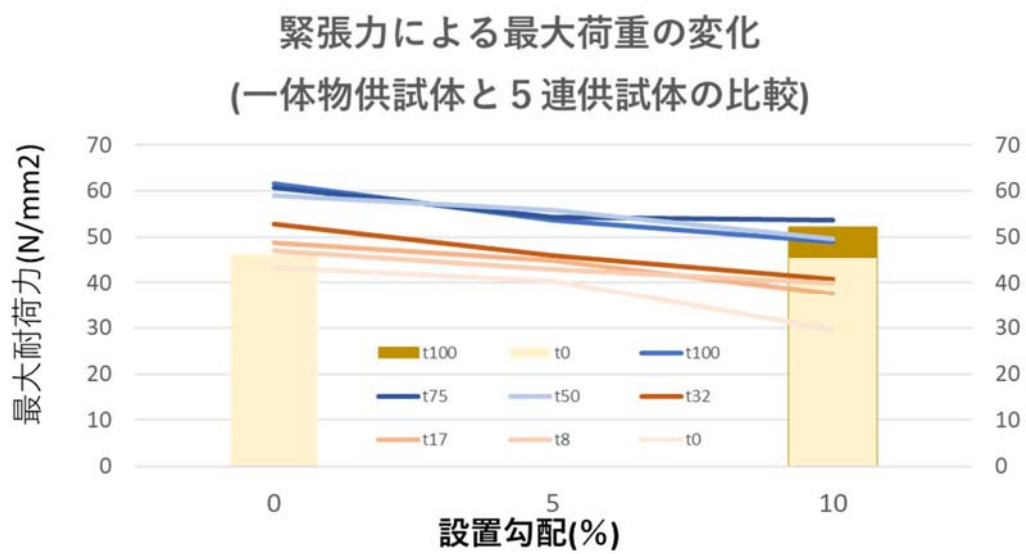


図10 PC 緊張力を変化させた際の最大荷重の変化



図11 5\_00\_t0 載荷終了後





図 12 5\_05\_t0 載荷終了後



図 13 5\_10\_t0 載荷終了後



図 14 5\_10\_t100 載荷終了後



図 15 5\_05\_t100 載荷終了後



図 16 5\_00\_t100 載荷終了後



図 17 5\_10\_t0 載荷終了後(前面)



图 18 5\_10\_t0 載荷終了後(背面)



图 19 5\_10\_t150 載荷終了後(前面)



图 20 5\_10\_t150 載荷終了後(背面)

5\_10\_t0 の破壊形状が各供試体にせん断方向の破壊形状が確認されるのに対し、5\_10\_t150 の供試体ではせん断方向の破壊は確認されず、緊張力の作用方向に対して面外方向へ剥離した破壊形状となっている。

5\_10\_t150 の载荷状態を整理すると、まず初めに供試体の延長方向に PC 緊張力が付与され、一軸圧縮状態となる。そのうえで、上下方向からの载荷が開始される。このため、载荷試験を行っている最中は二軸圧縮の状態である。二軸方向あるいは三軸方向などの多軸载荷状態の場合、既往研究<sup>例えば 8,9)</sup>によると供試体内の応力状態は作用する外力から算出されるみかけの応力よりも、かなり大きく(あるいは小さくなる)ことが推測され、境界面の摩擦係数に左右されるとされている。このことから、5\_10\_t150 における破壊形状を推測すると供試体の上下方向と圧縮と、供試体の延長方向からの拘束により、内部の応力が上下方向の圧縮力を受け、本来であれば延長方向あるいは、面外方向への応力分散がなされるが、延長方向の拘束力があることで、最大荷重が大幅に低下し、図 21 のように面外方向への破壊を生じたものと推測される。

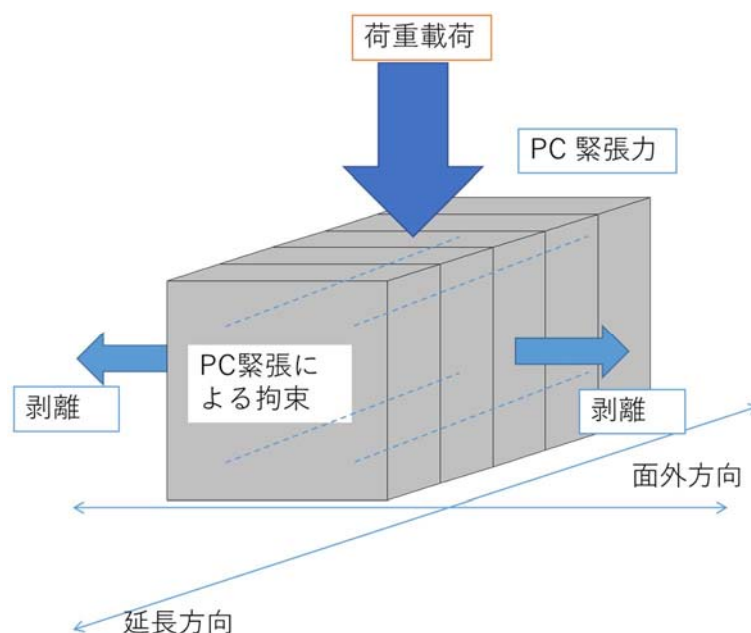


図 21 面外方向への応力分散のイメージ

また、既往研究<sup>例えば 10,11)</sup>によると、複合荷重下のコンクリートの挙動は同一複合応力状態によっても、その応力状態に到達するまでの過程により、内部のひび割れ発生伝播が異なるため、それにより破壊挙動が異なるということが述べられている。このことから本実験では、緊張力 100%以上は 150%のみ検討を実施したが、110%や 120%、あるいは 150%以上の緊張力を付与した場合は、また異なる破壊形状を生ずる可能性も考えられる。



#### (4)PC 緊張力の影響について

これまでの結果より、適正な PC 緊張力を付与することでプレキャストボックスカルバート全体の構造物としての一体性を向上させることが可能であろうと推測される。

図 22 に PC 緊張力に着目した最大荷重の変化を示す。

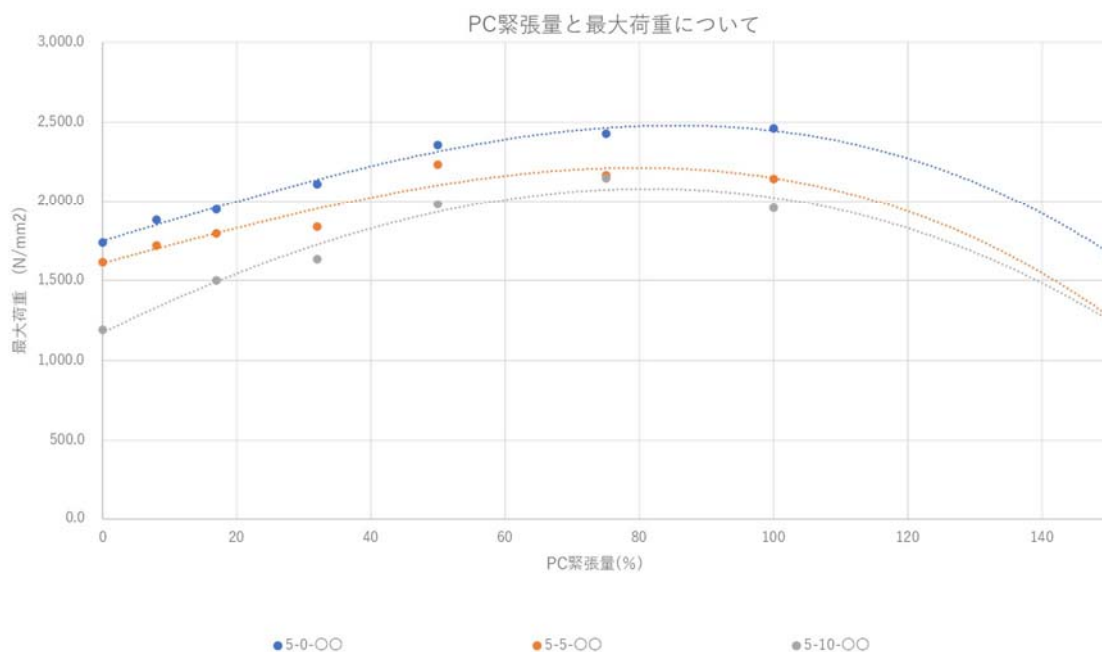


図 22 PC 緊張力に着目した最大荷重の変化と近似曲線

横軸に PC 緊張力、縦軸に最大荷重の変化を表している。この結果より、PC 緊張力が 50% から 100%の間は最大荷重の値として 1 割程度の差はあるものの、大きく最大荷重が異なるということは確認されない。また、近似曲線の傾向から、縦断勾配によって最適な PC 緊張量が存在するであろうことが予測される。これらのことから、縦断勾配が変化することで、これまでの設計思想では、現場の状況との乖離が懸念される。

前段で述べた通り、100%以上の PC 緊張力を付与すると、逆に構造物としての一体性を確保できなくなってしまう。さらに 50%以上の PC 緊張力であれば一定の構造物一体性を確保できる点を加味すること。施工上のクリアランスや安全率を適正緊張力の $\pm 5\%$ と仮定すると図 23 のように整理することができる。

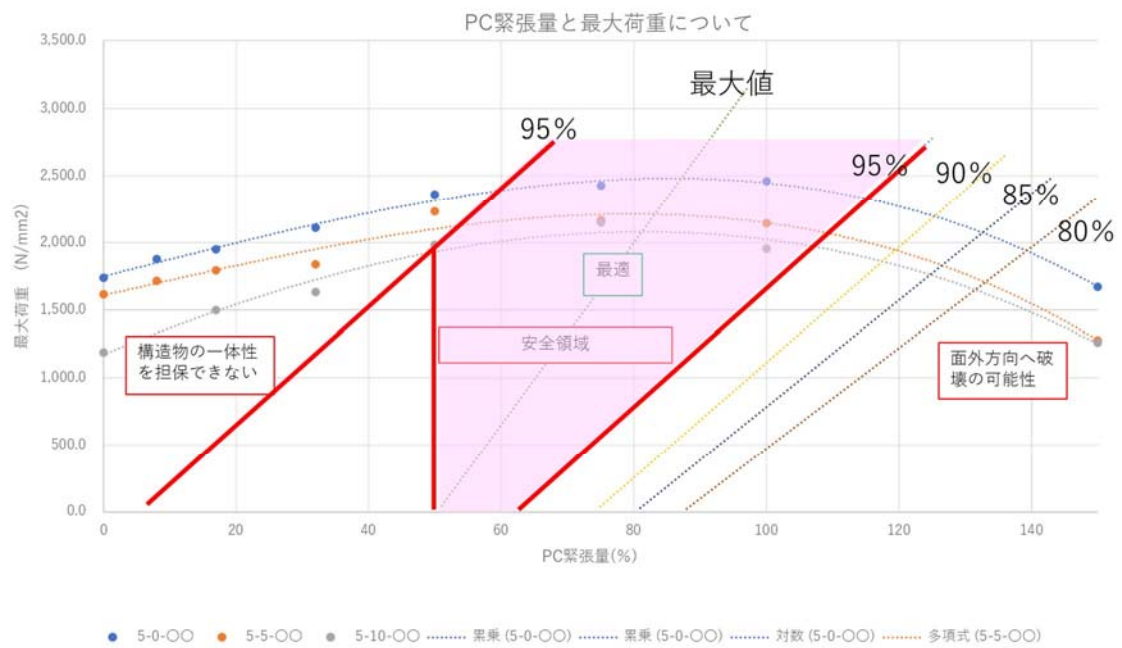


図 23 縦断勾配ごとの最適な PC 緊張力の安全領域の提案

### 5.3 構造解析ソフトを用いた応力状態の確認

載荷試験結果と併せて、応力状態の確認を確認するため、プレキャスト想定供試体と現場打想定供試体において構造解析ソフトにより、パソコン上で前述の供試体 2 種の 3D モデルを作成し、縦断勾配が 0%、5%、10%で構造解析を行い、載荷時の応力状態を確認し、実際の圧縮載荷試験結果の状況と比較・検討を行った。

#### (1)供試体概要

プレキャスト部材を想定した供試体の寸法は(B)200 mm×(H)200 mm×(L)40 mmのモデルを 5 個並べた(B)200mm×(H)200mm×(L)200mmとし、ヤング率は $2.35 \times 10^{10} \text{N/m}^2$ 、ポアソン比は0.17、メッシュサイズは最大 0.07 mm、最小 0.04 mmとした。

現場打ちを想定した供試体の寸法は(B)200 mm×(H)200 mm×(L)200 mmとし、ヤング率とポアソン比はプレキャスト部材と同様として解析を行った。等分布荷重を作用させるため傾斜がある場合は、実際の圧縮試験と同じ状況になるように治具もモデル化して行った。

表-2 解析ケース

	設置勾配(%)		
	0	5	10
現場打想定	1_00_t0	1_05_t0	1_10_t0
プレキャスト 想定	5_00_t0	5_05_t0	5_05_t0

凡例： 供試体数\_縦断勾配\_PC 緊張有無□

#### (2)解析方法

本研究で用いた解析ソフトは、オープンソース CAE ソフトウェアの中でもプリポスト「SALOME」と、構造解析ソルバー「Code Aster」が統合された構造解析ソフト「SALOME-MECA」を使用した。最大荷重は 1000kN を載荷条件として解析を行った。応力については最大せん断応力で確認し、プレキャスト想定供試体と現場打想定供試体について、応力分布を比較した<sup>12)</sup>。解析ケースについては表 2 に表す。なお、今回は主に各ケースの挙動を明確に把握することが目的のため、PC 緊張量については考慮しないケースのみとするため、凡例の緊張量についてはすべて t0(緊張なし)と表す。

#### ・結果および考察

図 24 に現場打想定モデルの解析結果を、図 25 にプレキャスト想定モデルの解析結果をそれぞれ示す。各図とも、供試体モデルの右側を上流方向、左側を下流方向として表示した。すべてのモデルにおいて左側が供試体下面、右側が上面からの視点であり、各モデルにおいても左

側が下流側、右側が上流側である。

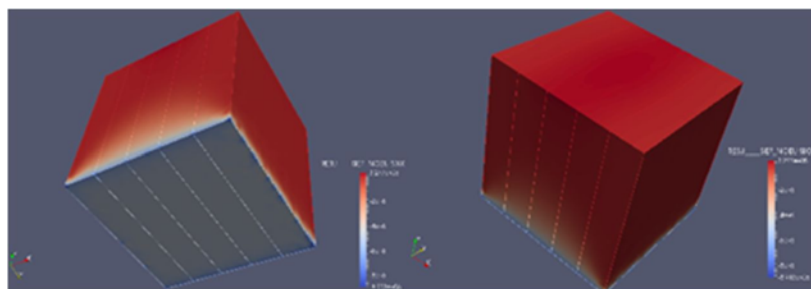
これらの結果より、全モデル共通で、各単体のモデル上流側上端から下流側下端に向かい最大せん断力が発生していることが把握された。縦断勾配別では縦断勾配 0% の場合、全面で等分布荷重を受け持っていることが確認できる。その反面、縦断勾配が大きくなるにつれ、上流側上端に荷重が大きく作用していることが確認された。1-10-t0 と 5-10-t0 について载荷試験終了後の供試体を図 26 および図 27 に表す。

図 24(a) と図 25(a) に示す縦断勾配 0% の現場打想定供試体とプレキャスト想定供試体の応力のかかり方は類似しており、供試体全体に均等にかかっていることが確認出来る。構造解析の载荷方法については、等分布荷重を確実に载荷できていることが確認できる。

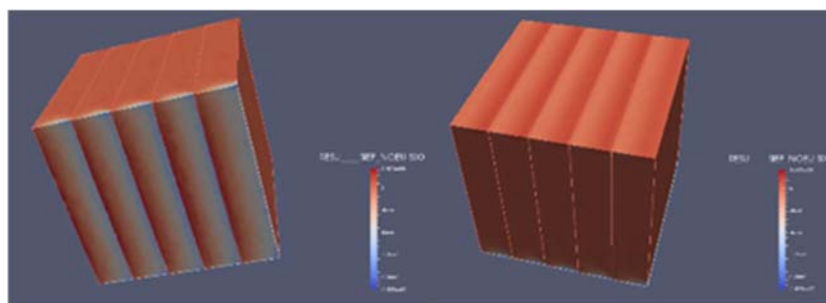
設置勾配を 5%、10% と変化させると、両モデル同様、上流側上端より下流側下端へ向かい、せん断応力が作用している。現場打では縦断勾配下であっても、プレキャストで発生しているような変状は確認されていない。このことから、プレキャストを用いた場合でも、現場打想定モデルのような応力状態に近づけることで、プレキャスト特有の変状に対して抑制効果が期待できるものと推測される。

また、図 24(c) と図 25(c) を図 26 および図 27 と照合してみると、せん断応力の発生状態と、载荷試験後のひび割れの発生方向が類似していることが確認できる。よって、構造解析についても、実際の実験状況を反映できていると判断できる。

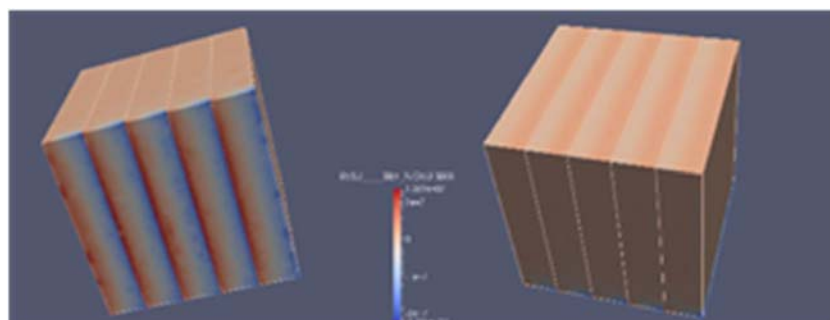




(a) 5-00-t0



(b) 5-05-t0

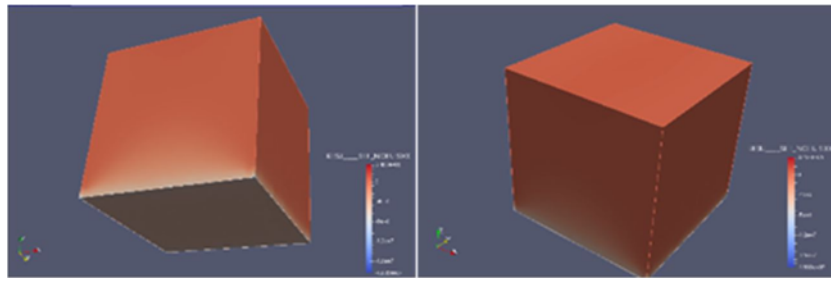


(c) 5-10-t0

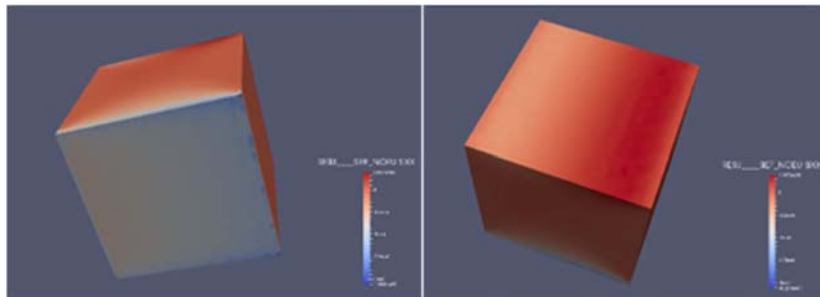
图 24



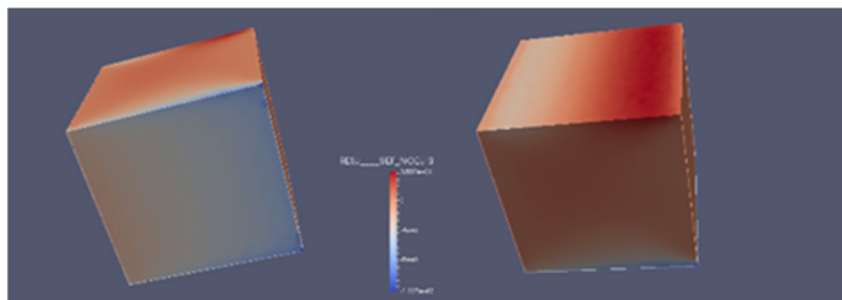
图 26



(a) 1-00-t0



(b) 1-05-t0



(c) 1-10-t0

图 23



图 25

## 5.4 まとめ

本実験により得られた結果を以下にまとめる。

- ・ PC 緊張力を付与することで構造物としての一体性向上に寄与可能。
- ・ 縦断勾配下では勾配 0%と比較し、耐荷性能(最大圧縮強度)が低下する。
- ・ 縦断勾配下では、上流側上端を起点としてせん断応力が作用する。
- ・ 縦断勾配に応じた最適な PC 緊張力が存在し、適切な PC 緊張力を付与することで、縦断勾配に準じた耐荷性能を発揮することが可能である。
- ・ 構造解析による応力作用状態と実験との整合性が確認された。

今後、PC 緊張量を所定の緊張量より割増した際に、どのような挙動が確認されるか。また、構造解析においては PC 緊張力を想定し、構造解析に軸力を加味した検討法を考案していくことが必要であると考えられる。また、実際の施工現場では、基礎地盤の影響や盛土部分、また施工具合の不確実性も発生するため、それらの影響を考慮した設計法の検討・確立が必要であると考えられる。

・参考文献

- 1) 本田和也,滝瀬直登,齋藤尚,橋場正明：乾漆変化がプレキャストコンクリート製品の変形挙動に与える影響,コンクリート工学年次論文集,Vol.38,No.2,2016
- 2) 野田翼,山崎旬也,石田雅博：既設プレキャストアーチカルバートの耐震性能評価と補強方法に関する検討,令和元年度 国土交通省 国土技術研究会,2019.11
- 3) 後藤琢磨,駒谷太子,長谷川明：スーパーボックスカルバートの設計と施工（H17 年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要）
- 4) 公益社団法人 日本道路協会：道路土工 カルバート工指針(平成 21 年度版)
- 5) 祐川真也,橋詰豊,長谷川明,後藤琢磨：PCa ボックスカルバートの急勾配設置における一体性向上の検討(H31 年度土木学会全国大会技術研究発表会講演概要)
- 6) 三浦健太郎,盛健太郎,橋詰豊,祐川真也,後藤琢磨：急傾斜路におけるプレキャストボックスカルバートの縦方向連結供試体の載荷実験(H30 年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要)
- 7) 後藤隆臣,栗原光司,島弘,平野勝識,笹谷輝勝,小倉貴裕：機械式継手単体の特性と実大 RC 壁部材の部材性能との関係土木学会論文集 E2（材料・コンクリート構造）, Vol. 75, No. 3, 208-225, 2019
- 8) 中川浩二、小林昭一、丹羽義次：定変形二軸圧縮供試体内の応力分布におよぼす載荷経路、端面摩擦の影響、土木学会論文報告集 第 202 号 1972.6
- 9) 佐伯昇、高田宣之、藤田嘉夫：二軸圧縮応力状態のコンクリートの変形と破壊挙動、第 4 回コンクリート工学年次講演会講演論文集、1982
- 10) 青山博之、野口博：多軸応力下のコンクリートの力学的性状、コンクリート工学論文集 Vol.17 No.4 pp1-14 1979.4
- 11) 穴吹拓也、杉本訓祥、米澤健次、津田和明：三軸圧縮応力下にある超高強度コンクリートの破壊曲面、コンクリート工学年次論文集、Vol.33 No.2 2011
- 12) 柴田良一：オープン CAE「Salome-Meca」構造解析

## 6 章 LCC 比較と今後のインフラメンテナンスへの提言

LCC の比較および昨今いわれる SDGs に対し、環境に配慮しながらインフラメンテナンスを進めていくにあたり、様々な研究<sup>例えば 1)</sup>が行われている。本章では、今後のインフラメンテナンスの進め方について、これまでの研究を元にサンプル現場を設定し、その一つの CO<sub>2</sub> 削減を鑑み LC CO<sub>2</sub> の比較を行い、提言を記す。

### 6.1 LCC 比較と LCCO<sub>2</sub> 比較

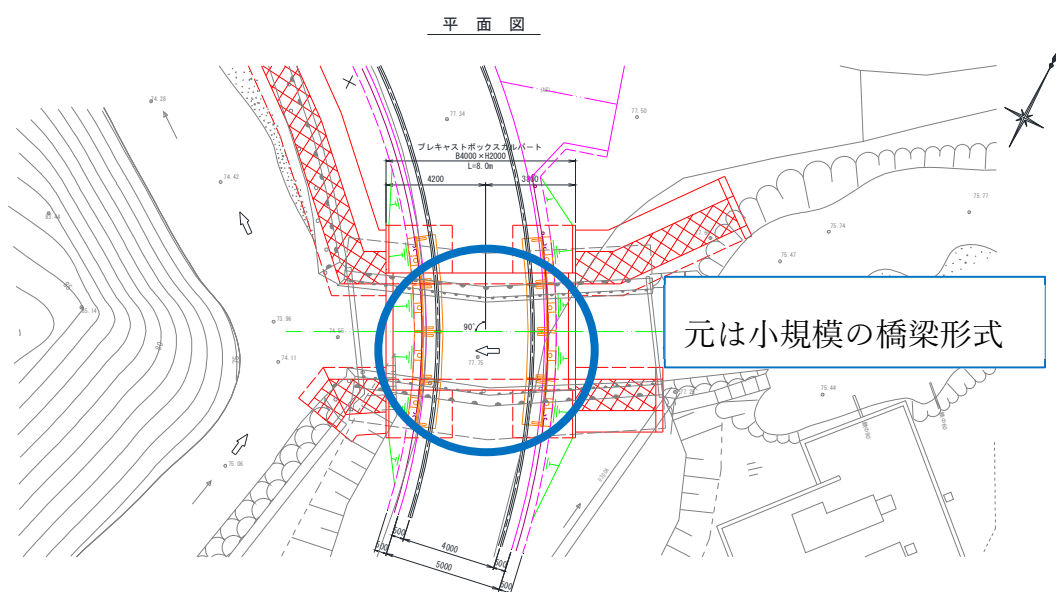


図 1 全体平面図

#### (1) LCC および LCCO<sub>2</sub> 条件設定

サンプルの現場を図 1 に設計条件を表 1 に示す。

表 1 設計条件

現場状況	既設橋梁をボックスカルバート形式へ
ボックスカルバートサイズ	内空サイズ (B)4000 × (H)2000
施工延長	(L)8000
コンクリート設計基準強度	24.5 kN/m <sup>3</sup> (現場打)
	40.0 kN/m <sup>3</sup> (プレキャスト)
設計土被り	1.0m
その他	水路ボックス

表 1 に示した設計条件の計画断面および割付図を図 2(現場打断面)および図 3(プレキャスト断面)に示す。

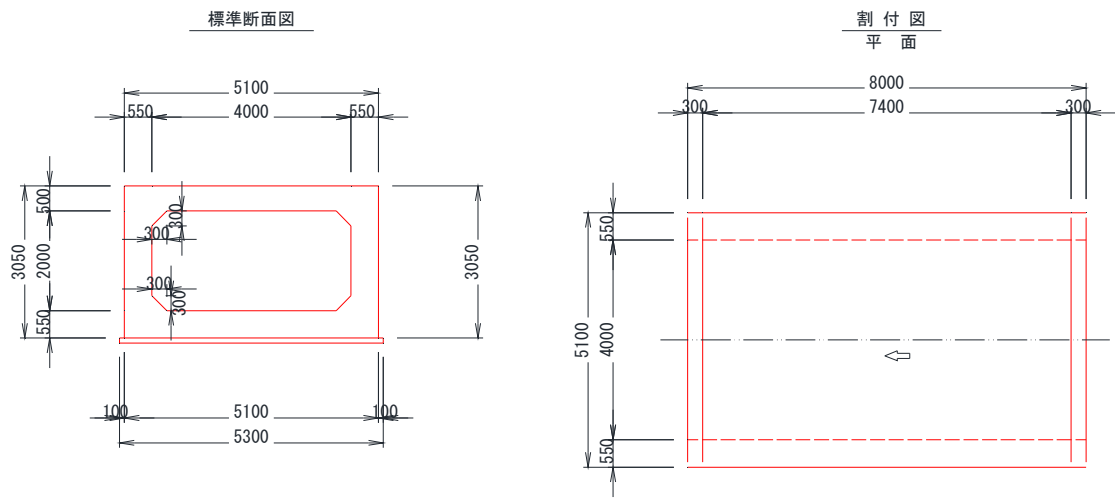


図 2 現場打ボックスカルバート断面および平面割付図

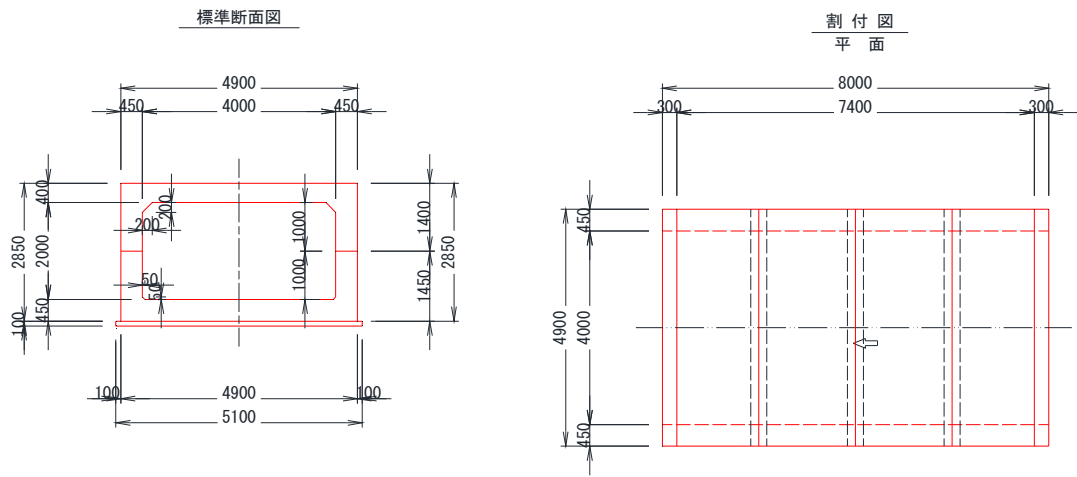


図 3 プレキャストボックスカルバート断面および平面割付図

比較ケースとしては、現場打ボックスカルバート、プレキャストボックスカルバート、高炉スラグを用いた高耐久プレキャストボックスカルバートの3ケースとする。

各工法のイニシャルコストとなる直接工事費と改修工事費を表2に表す。プレキャスト製品を使用することにより工期短縮になり、一つの工事現場当たりの工程も削減でき、全体の工事費として削減される可能性も考慮されるが、その点是不確実性を伴うため、本検討では考慮しない。また、LCC比較条件を表3に示す。図3は3工法におけるLCC比較を行ったものであり、縦軸にコスト、横軸に供用年数を示す。図4については3工法におけるLCCO<sub>2</sub>比較を行ったものであり、縦軸にCO<sub>2</sub>排出量、横軸に供用年数を示す。なお、CO<sub>2</sub>排出量については、全体工事ではなく、資材のみを対象とし、CO<sub>2</sub>算出におけるインベントリデータは表4に示す。

表2 各工法における直接工事費と撤去・更新費

	現場打	PCa	高耐久 PCa
直接工事費	¥4,758,572	¥5,971,598	¥7,093,198
撤去費	¥3,331,000	¥4,180,119	¥4,965,239
更新費	¥4,758,572	¥5,971,598	¥7,093,198

表3 各種比較条件

	現場打	PCa	高耐久 PCa
耐用年数	50 年	100 年	100 年
小規模補修頻度	1/10 年	1/15 年	1/30 年
小規模補修コスト	初期直工の 20%		
中規模補修頻度	1/20 年	1/30 年	1/60 年
中規模補修コスト	初期直工*40%		

表 4 インベントリデータ

材料	インベントリデータ (kg-CO <sub>2</sub> /kg)	備考
W	0	-
OPC	0.7655	LCA データベース 2020 年度第 1 版 <sup>2)</sup>
BB	0.5000	国土交通省 社会資本整備審議会第 6 回環境部会資料より <sup>3)</sup>
S	0.0037	コンクリートライブラリー125 コンクリート構造物の環境性能照査指針 2005 <sup>4)</sup>
BFS	0.0024	JCI コンクリート工学 Vol.56,No.11,2018.11 <sup>5)</sup>
G	0.0029	コンクリートライブラリー125 コンクリート構造物の環境性能照査指針 2005 <sup>4)</sup>
AD	0.2184	JCI コンクリート工学 Vol.56,No.11,2018.11 <sup>5)</sup>



(2)LCC 比較結果および LCCO<sub>2</sub> 比較結果

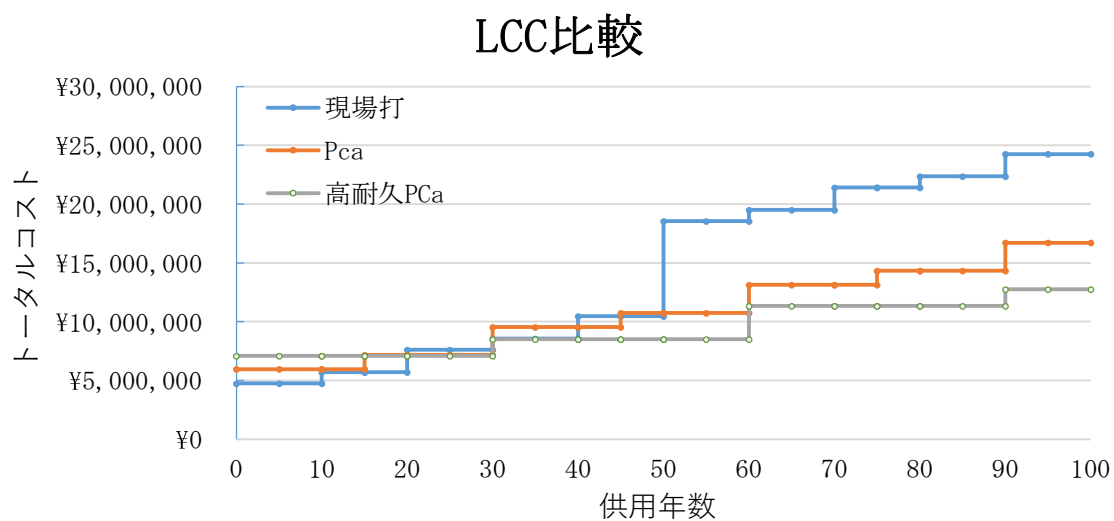


図 3 3 工法における LCC 比較

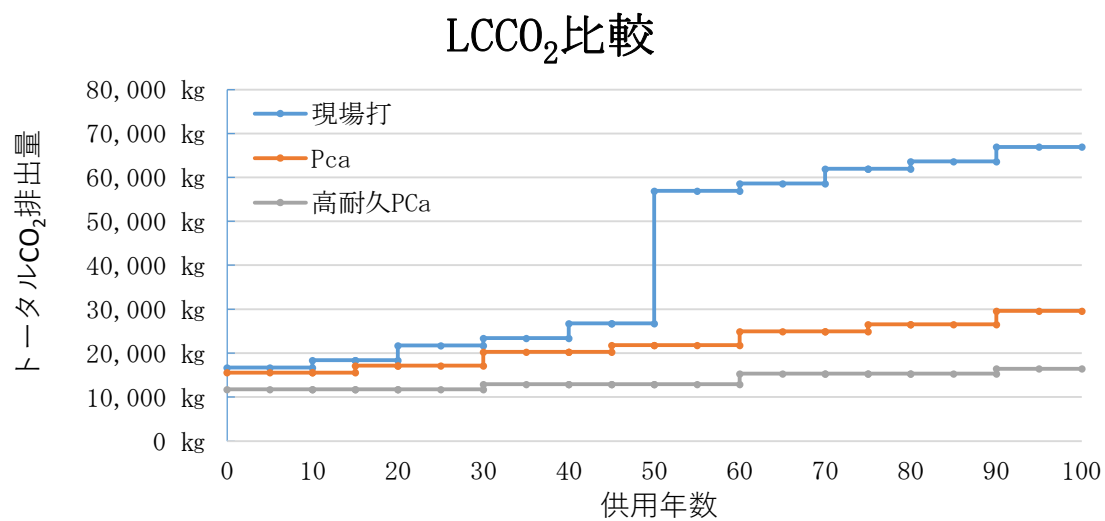


図 4 3 工法における LCCO<sub>2</sub> 比較

表 5 イニシャルコスト(IC)とトータルコスト(TC)の比較

	IC	TC	TC/IC
現場打	¥4,758,572	¥24,268,717	5.1
PCa	¥5,971,598	¥16,720,474	2.8
高耐久 PCa	¥7,093,198	¥12,767,756	1.8

表 6 イニシャル CO<sub>2</sub> 排出量(ICO<sub>2</sub>)とトータル CO<sub>2</sub> 排出量(TCO<sub>2</sub>)の比較

	ICO <sub>2</sub> (kg)	TCO <sub>2</sub> (kg)	TCO <sub>2</sub> /ICO <sub>2</sub>
現場打	16739	66954	4.0
PCa	15609	29657	1.9
高耐久 PCa	11781	16493	1.4

図 3 を見ると LCC 比較で最も抑えられているのが、高耐久材料を使用したプレキャストボックスカルバートであり、次いで通常のプレキャストボックスカルバート、最も LCC が高いものとして現場打ボックスカルバートとなる。併せて、図 4 を見ると現場打ボックスカルバートは耐用年数を 50 年としていることで、撤去更新が重なり LCC および LCCO<sub>2</sub> 共に最も高く(最も不経済で環境負荷が大きい)なった。

また、トータルコストをイニシャルコストで除した結果を表 5 に、トータル CO<sub>2</sub> をイニシャル CO<sub>2</sub> で除したものを表 6 に示す。この値が小さい程、維持管理にかかるコストが低いことを示しているが、LCC および LCCO<sub>2</sub> においても、高耐久材料を使用したプレキャストボックスカルバートが最もすぐ優れていることが確認できる。

例えば、プレキャストの場合においても、何らかの原因により供用開始後 50 年で撤去・更新を行った場合についても、同様に図 5、図 6 および表 7、表 8 に示す。

供用中に撤去・改修を行った場合においては、通常のプレキャストボックスカルバートにおいて LCC で若干、逆転する。しかしながら、LCC および LCCO<sub>2</sub> においては、供用中に更新行ったとしても高耐久材料を使用したプレキャストボックスカルバートが最もすぐ優れていることが分かる。

LCC比較(供用開始後50年でPCaも更新した場合)

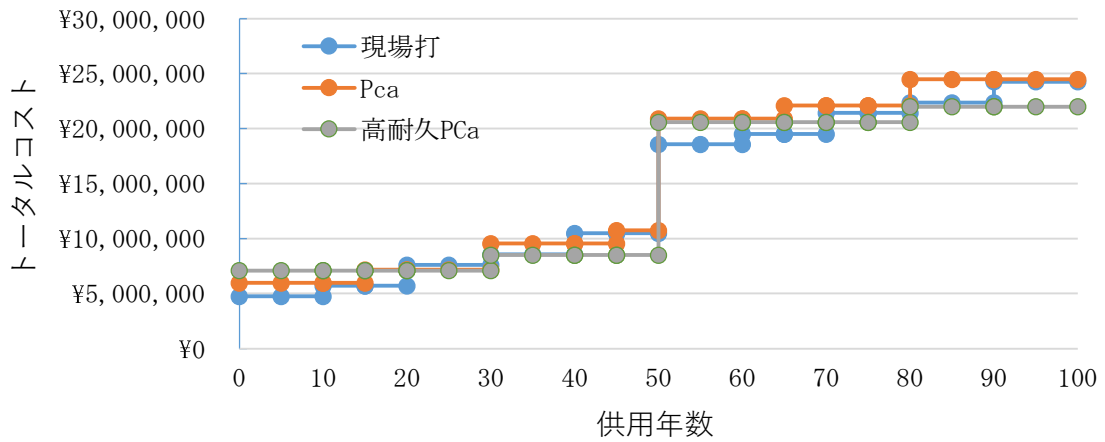


図5 3工法におけるLCC比較(供用開始後50年でPCaも更新した場合)

LCCO<sub>2</sub>比較(供用開始後50年でPCaも更新した場合)

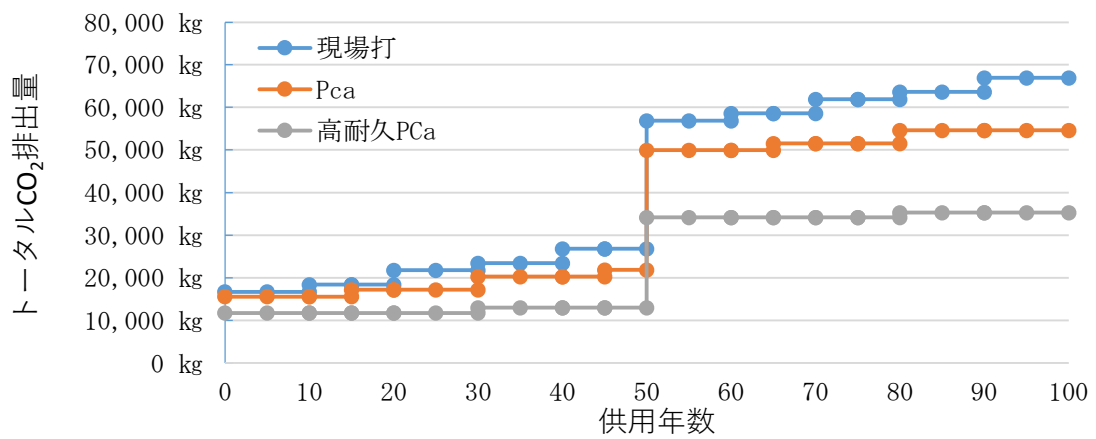


図6 3工法におけるLCCO<sub>2</sub>比較(供用開始後50年でPCaも更新した場合)

表 7 イニシャルコスト(IC)とトータルコスト(TC)の比較  
(供用開始後 50 年で PCa も更新した場合)

	IC	TC	TC/IC
現場打	¥4,758,572	¥24,268,717	5.1
PCa	¥5,971,598	¥24,483,552	4.1
高耐久 PCa	¥7,093,198	¥21,988,914	3.1

表 8 イニシャル CO<sub>2</sub> 排出量(ICO<sub>2</sub>)とトータル CO<sub>2</sub> 排出量(TCO<sub>2</sub>)の比較  
(供用開始後 50 年で PCa も更新した場合)

	ICO <sub>2</sub>	TCO <sub>2</sub>	TCO <sub>2</sub> /ICO <sub>2</sub>
現場打	16739	66954	4.0
PCa	15609	54631	3.5
高耐久 PCa	11781	35343	3.0

これまでの検討より、高耐久材料を用いて供用期間を長くすることで長期的なコストが最も抑えられることが確認された。併せて、先にも述べたが、実際はプレキャスト製品を使用することで施工現場での実質の工事作業自体を縮小できる。例として本検討に用いた現場打ち、およびプレキャストボックスカルバートの概略施工工程比較を図 7 に示す。

現在の LCC 比較では、直接工事費のみで比較されている。i-construction の考え方を踏襲した間接経費を考慮すべきとの考え方もあるが、現状では広く周知されていない。

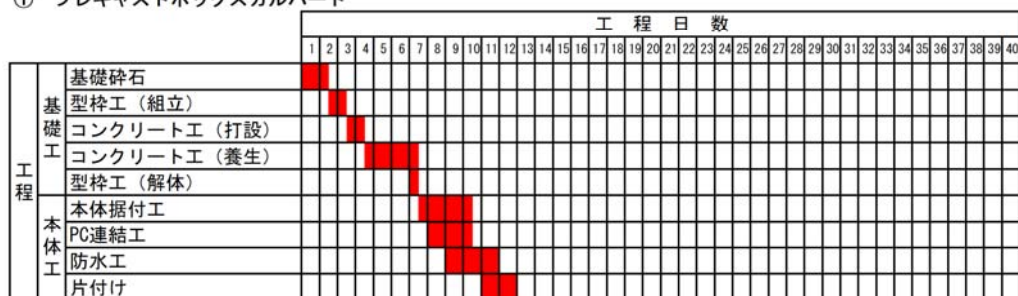
表 5 および表 7 で示すように現場打の初期コストと高耐久プレキャストでは約 33%コストアップになっている。しかしながら、これは前述のとおり直接工事費のみの比較であり、図 7 のような工期短縮のメリットなどが加味されていない。ボックスカルバート工自体の工期のみ考えると約 66%短縮可能になるため、費用対コストの部分を検討すると現場打ボックスカルバートとプレキャストボックスカルバートのイニシャルコストの差は小さくなり、トータルコストの差は大きくなり、プレキャスト製品の有用性が高いことが高いことが分かる。

しかしながら、本章で検討した LCC 比較を実現させるためには 4 章で述べた品質管理および 5 章で述べた PC 鋼棒による延長連結など、製品製造における品質管理や延長 PC 連結の施工等を確実に行うことが大前提である。

### ○比較結果

①プレキャスト ボックスカルバート		②現場打 ボックスカルバート	
12.0日	34%	35.0日	100%

### ① プレキャストボックスカルバート



## ② 現場打ボックスカルバート

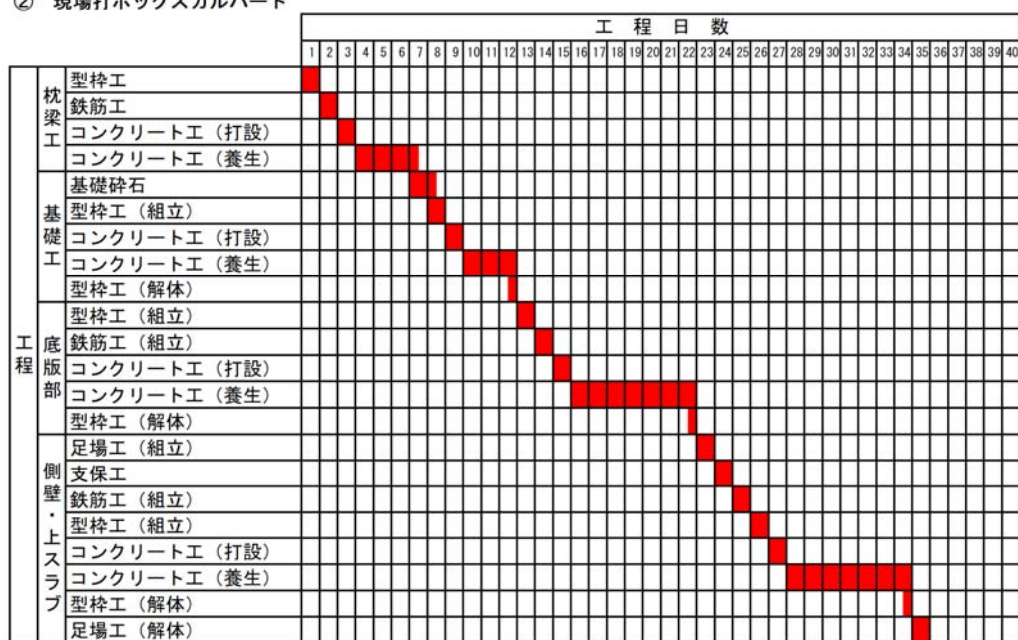


図7 プレキャストボックスカルバートと現場打ボックスカルバートの工程比較

## 6.2 提言

LCC の比較や環境配慮の面、市町村のインフラメンテナンスに関連する実務者や技術者の面など、現在抱えている課題に対してのいくつかの提言を表す。

- (1) 市町村間連携：技術者や財政の課題を乗り越えるために、橋梁の管理を複数の自治体で連携して管理すること。青森県では、橋梁長寿命化計画策定のための点検活動を、全ての市町村が共通様式で実施してきている。このため、点検結果にもとづく維持工事への取り組みにおいても、自治体間で共通性を持たせ高い連携を持つことで効果的な取り組みが期待される。このような取り組みの事例としては、山形県が県内市町村を取り組んで実施している例や福島県にて地域住民と連携して行う例などがある。
- (2) 産学官連携：大学、行政、および産業界が連携して、橋梁技術者の育成と課題解決のための活動を展開する必要がある。特に、積雪寒冷地や人口減少地域の課題は、特定の地域の課題であることから、青森県が進んで取り組むべき課題と言える。このことについては、青い森の橋ネットワークが研修会などの活動を進めてきており、さらに情報共有、共同研究、共同研修などを充実させることが必要である。
- (3) 負担の少ない橋梁の開発：特に、寒冷地や人口減少地域の橋梁として適切な新しい橋梁を開発し、更新や維持管理に関わる費用、時間や労力の負担が軽減される社会への移行を検討する必要がある。全国的な人口減少や世界的な資材高騰の波の中、プレキャスト製品の積極的利用も検討する必要がある。
- (4) 橋梁の選択：社会活動の変化に対応して、新しい社会に適応する道路の新設あるいは改良を進めるとともに、橋梁の集約化や削減によって、維持する橋梁の安全性の確保を検討することも必要である。
- (5) 豊かさの維持：橋の役割は、くらしや産業をゆたかに営むため、河川や鉄道などを横断することが大きい。それぞれの地域の文化、自然、歴史、産業などとの関わりを持たせた橋もある。安全とともに、市民に親しまれてきた橋の空間の維持も考慮する必要がある。
- (6) 高耐久な材料に関して：インフラメンテナンスに携わる担当者や技術者において、LCC の観点や  $LCCO_2$  の抑制については、多くの提言や指針などがあり「良いものを長く、供用していく」ことが最も有効なことは知られているが、限られた事業費や予算の確保など様々な制約の中で、必ずしも、その方向を選択できないというジレンマが発生している。その部分の根本的解決を模索する必要がある。

本研究では、青森県および県内市町村が管理する橋梁の現状と課題について、プレキャスト製品の有用性が高く、人口減少や生産年齢人口の減少に対しての解決策としても、期待されているが、懸念されるポイントについての解決策等を検討した。特に、青森県では、寒冷地という自然環境と、著しい人口減少が進む社会環境の中で橋梁が整備され、くらしや産業の基盤となっている。既述した課題や提言について、国土交通省や青森県および各市町村が、財政上の課題や技術上の課題に対して、様々な施策を進めて努力してきている。地域の自治体が整備す

る橋梁が、地域のくらしや産業を支え続けるために、これに関わる全ての人の努力が期待される。

・参考文献

- 1) 河合研至,小林孝一,上野敦,加藤佳孝：コンクリート構造物の補修・解体・再利用におけるCO2 削減を目指して,コンクリート工学論文集 テクニカルレポート Vol.50 No.11 pp.1006-1013 2012.11
- 2) LCA データベース 2020 年度第 1 版
- 3) 国土交通省 社会資本整備審議会第 6 回環境部会資料
- 4) コンクリートライブラリー125 コンクリート構造物の環境性能照査指針 2005
- 5) 高橋茂, 薮田和哉, 高橋守男, 光石尚道：コンクリート関連産業の JIS Q 13315-2 に基づく環境負荷インベントリデータの算定 ②コンクリート用材料の製造における環境負荷の算定, JCI コンクリート工学 講座 Vol,56.No.11,2018.11



## 7 章 総括

本研究は地方自治体における喫緊の課題である技術者・技能者不足などの社会全体が抱える課題から、今後のインフラメンテナンスにおける提案を示したものである。

1 章では本論文の研究背景と論文構成を述べている。

2 章では、地方自治体におけるインフラ維持管理について、一例として青森県内の橋梁を対象に、橋梁形式の傾向やデータを中心にまとめた。また、実際のインフラメンテナンスを行う実務担当者からの意見をまとめ、青森県内で供用されている道路橋は、全国の傾向と類似しており、比較的小規模なものが多いということが分かった。また、既存の橋梁形式を保ちながらメンテナンスを行うことに対し、様々な既往研究やデータ、調査報告からも、いわゆる桁橋や床版橋などの上部工と下部工に分割されていると、劣化調査や補修工法が複雑になり、人員と予算の関係上、効率的でないという意見が多く、簡易な構造を希望している声が多く聞かれた。また、道路橋点検の面からも小規模橋梁をボックスカルバートへシフトしていくことで、点検業務の効率化や繰返し荷重に対する長期的な耐荷性能、さらに、現場における技術者や技能者不足における解決策として、プレキャストボックスカルバートの使用が期待されていることを述べるとともに、プレキャスト製品の課題として耐久性と品質確保、施工時の一体性について述べた。

3 章では、2 章で述べたプレキャスト製品を積雪寒冷地域において、高耐久なものとしていくため、西日本で多く普及している高炉スラグを用いた高耐久コンクリートについて、高炉スラグ細骨材と高炉セメント B 種、そして、青森県内のプレキャスト製品製造工場にて使用している県産骨材を使用して、プレキャスト製品を製造し対凍害性と耐塩害性を有するのかを確認した。このコンクリートをプレキャスト製品に使用することで、青森県のような積雪寒冷地域においても高い耐久性を有するプレキャスト製品を製造することができることを述べた。

4 章では、プレキャスト製品の大型化に伴いコンクリート製品において品質の面的ばらつきが懸念されるため、実物大サイズの供試体を製作し、簡易透気試験および簡易透水試験の非破壊試験を行い、コンクリート品質の面的分布を確認した。その結果、製品の大型化によって懸念される表層品質の面的ばらつきは、測定対象面の約 4 割以上をカバーすることで、一つの代表値として考えることができるとする結果が得られた。

5 章ではプレキャスト製品、特に大型プレキャストボックスカルバートを小規模橋梁の代替工法として使用する際に懸念される延長方向の一体性について検討を行った。ボックスカルバートが施工される現場の条件は高土被りや、道路線形計画によるカーブ、縦断勾配など様々な

条件がある。大型プレキャスト製品特有である、寸法サイズの制約や運搬からの重量制限など、限られた条件の中で、様々な現場条件に対応していかなければならないが、今回の研究では、PC 緊張による延長方向の一体性の確認と縦断勾配下における大型プレキャストボックスカルバートの一体性を向上について検討し、縦断勾配がある現場の場合、条件によって最適な PC 緊張量を付与することで、構造的としての一体性を向上させることが可能であるという結果が得られた。

6 章では、これまで検討してきた大型プレキャストボックスカルバートを実際に小規模橋梁の代替工法として施工した際に、LCC や LCCO<sub>2</sub> がどの程度抑制することが可能なのか、サンプル現場を仮定し、検討を行った。高耐久プレキャスト製品を使用することで、初期コストは 1.5 倍ほど高くなるが、供用年数を 100 年と仮定すると、現場打コンクリート構造物と比較してトータルコストが約 50%低減できることが確認された。今後のインフラメンテナンスが迎える社会状況の中で、プレキャスト製品の有用性と環境配慮型のインフラメンテナンスを推進していく必要があることを述べた。

本研究の総括としてまとめる。

青森県における将来的なインフラメンテナンスに関して、これまでは事後保全型のメンテナンスから、平成 15 年の「道路構造物の今後の管理・更新等の在り方提言」等により少しずつ国内のインフラメンテナンスに目が向けられてきた。一方、欧米諸国では我が国に先んじて、維持管理・更新の時代に突入し、インフラの劣化・崩壊により人命に関わる事故なども発生していた。わが国では平成 24 年の中央自動車道笹子トンネル天井版崩落事故により死者 9 名、負傷者 2 名という惨事をもたらした。平成 26 年には国土交通省社会資本整備審議会 道路分科会建議「道路の老朽化対策の本格実施に関する提言」の中で、最後の警告・今すぐ本格的なメンテナンスに舵を切れという提言を行い、インフラ管理者に対し、点検の義務化や産官学の全リソースを用いた総力を挙げることを提言した。そこから我が国のインフラメンテナンスが本格的に動き始めた。

先んじて青森県では平成 18 年より橋梁アセットマネジメントを導入し、インフラメンテナンスコストの最小化を目指した維持管理を実施している。このアセットマネジメントでは「主要部材については予防保全段階より低い健全度をなくす」ことを長期目標として維持管理を行っている。全国に先駆けて行ったこの取り組みは、多くの地方自治体のインフラメンテナンスの参考となっている。さらに全国、特に青森県のような地方自治体では人口減少や生産年齢人口の減少、都市圏への人材流出が大きな問題となっている。

青森県内の橋梁管理のデータから比較的小規模な橋梁が多いこと、ボックスカルバート形式や床版橋などの上部工構造が主であることが判明した。さらに人口減少予測により、将来的に県内の技術者・技能者は減少の一途であることが、容易に推測される。現在、県内のインフラメンテナンスにおける実務担当者も、このような背景から将来的な不安を抱えているであろう結果がアンケート結果からも分かる。

青森県は本州最北端であり、積雪寒冷地域ということもありインフラメンテナンスにおいては、積雪寒冷地特有の劣化も考慮してかなければならない、特に道路橋の凍結は地域住民の生活に大きな影響を及ぼすため、凍結防止剤の使用は避けられない。そのため、凍害と塩害の複合劣化が大きな課題となる。

インフラメンテナンスを行う実務担当者の声と、人口減少による技術者・技能者不足に対しては、国土交通省が推進する **i-construction** の一環であるコンクリート工の生産性向上の中のプレキャスト製品の積極的使用が有効である。また、小規模な橋梁とは言うものの、これまでのプレキャスト製品と比較すると大型であり、プレキャスト製品特有の課題も存在する。本研究では、小規模橋梁の代替工法としてプレキャストボックスカルバートの有用性を検討した。

主に材料面として、高炉スラグを用いることで凍害と塩害に対する耐久性の向上、品質面として、プレキャスト製品の大型化による品質の面的ばらつきを考慮した品質管理方法、構造面としてプレキャスト製品特有の分割に対して、縦断勾配下に設置された際の、構造物としての一体性を確保する検討を行った。

材料面では、現在、西日本で普及している高炉スラグコンクリートを青森県で適用するにあたり、高炉スラグを用いて県産骨材と、既存のプレキャスト製品製造設備で耐久性を確保することが可能かどうかの検討を行い、高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートについて、スケーリング試験と凍結融解試験の結果、高い耐久性を有することが確認された。

さらに、高炉 B 種と高炉スラグ細骨材を併用することで、常圧蒸気養生を行ったコンクリートについても対凍害性が向上することが確認された。

また、高炉スラグ細骨材以外の骨材に青森県内の材料を用いたとしても、対凍害性に関しては、高炉スラグ細骨材と高炉スラグ微粉末を使用したコンクリートと比較しても、同程度の耐久性を有することが確認された。

品質面では、大型プレキャスト製品を模擬した供試体を製造し、簡易透気試験と簡易透水試験を行い、表層品質の面的ばらつきを検討した。さらに、表層品質を確認した結果から、対称面に対し、どの程度の測点数を把握することで対称面の代表値として評価可能かも併せて検討した。また、表層品質確認の非破壊試験結果と耐久性試験結果(スケーリング試験および塩化物イオン浸透性試験)を比較し、両者の関係性を検討した。結果として、表層透気係数は、測定箇所、特に上・中・下段による差が明確に示される一方で、表面吸水速度は測定箇所の違いによる差が少ない。また、表層透気係数、表面吸水速度ともに測定対象範囲の 4 割程度を確保できる測定数により、対象面の代表値(対象面全体の平均値)に漸近すること。表面吸水速度が大きいと塩化物イオン浸透深さは大きくなり、スケーリング量については同等、もしくは著しく大きい場合もあることから、表面吸水速度が耐久性に及ぼす影響は大きいということが確認された。

施工面では、前述の **i-construction** や昨今の S D G s の中の持続可能な開発目標として、多くのプレキャスト製品に関する検討や研究が行われてきている。大型プレキャストボックスカルバートは延長方向を P C 緊張によって連結し、構造物として一体性を確保している。小規模

橋梁の代替工法としてシフトしていく中で、延長方向の一体性の確認を行った。さらに、大型プレキャスト製品特有の課題として、様々な現場条件への適用が挙げられる。その中で本研究では跨線橋や跨道橋など山間部や農道などにおいて懸念される縦断勾配下に施工された場合の一体性向上にも着目して検討を行った。プレキャスト製品の特性上、分割された部材を現場にて接合して、構造物の一体性を確保している。しかしながら、近年、高規格道路のアンダーパスなど縦断勾配が大きい現場にて延長方向にドミノ倒しのような変状が発生し、それに起因したひび割れや漏水といった変状が多く報告されている。延長方向の連結に関してはPC緊張が一般的であるが、縦断勾配下のプレキャスト製品の挙動は明らかになっていないのが現状である。このような挙動に対し、どのような対策や考え方ができるのか検討を行った。

結果として、縦断勾配によって、一つの構造物としても耐荷性能が変化することが確認された。さらに、PC緊張力を付与することで構造物としての一体性向上に寄与可能であること。縦断勾配に応じた最適なPC緊張力が存在し、適切なPC緊張力を付与することで、縦断勾配に準じた耐荷性能を発揮することが可能であることが示唆された。また、構造解析を使用することで、ボックスカルバート内の応力状態を確認することが可能であろうことが推測される。今後、構造解析にPC緊張力をどのように反映させるかは課題であるが、本研究のPC緊張力を付与した場合の試験結果と照合しつつ進めていくことが望ましい。

さらに、実際の施工現場では基礎地盤の影響や上部の上載荷重や盛土部の影響、施工時の不確実性を加味した検討が必要である。

本研究3章から5章のプレキャスト製品特有の課題解決や更なる研究は、今後も当然必要であるが、2章および6章で得られたデータや知見、提言を今後のインフラメンテナンスに反映および活用していくことが特に重要であると考ええる。

全国、特に青森県のような地方自治体においては人口減少による担い手不足に付随して、インフラメンテナンスにかかるコストも非常に重要なファクターである。橋梁アセットマネジメントについては、事後保全型のメンテナンスと比較し予防保全型のメンテナンスのほうが、総事業コストを低減することが可能であることは様々な研究やシミュレーションにおいても明らかとなっている。しかしながら、今現在は予防保全型のインフラメンテナンスにシフトすることが望まれているものの、初期コストが重視されている部分も少なからずあると感じている。この部分が、予防保全型に完全にシフトされないインフラメンテナンスにおける大きなポイントである。このポイントにおいては、さらに幅広い観点から検討していかなければならない。

本研究が、今後の青森県や積雪寒冷地の自治体、布いては多くのインフラメンテナンスにおける実務担当者の参考、および予防保全型のインフラメンテナンスに貢献することができれば幸いである。

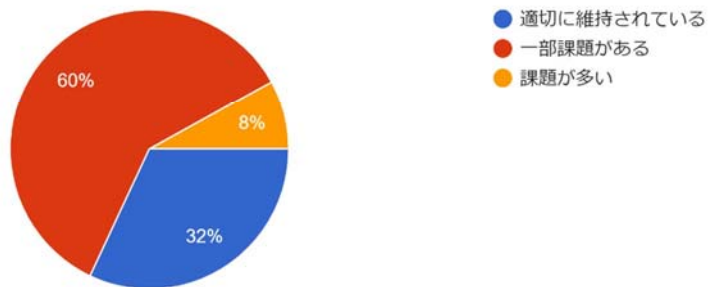
## 補遺

青森県内市町村を対象に行ったアンケートについて記載する。

### 1. あなたの市町村が管理する橋梁の現状についてお答えください。

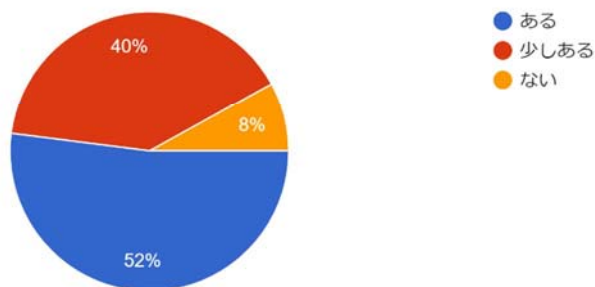
#### (1)あなたの市町村が管理する橋梁の現状をどう思いますか？

25 件の回答



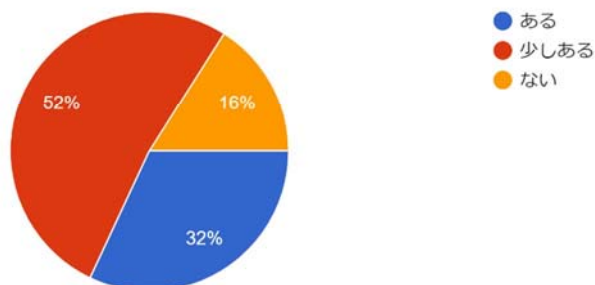
#### (2)費用面での課題はありますか？

25 件の回答



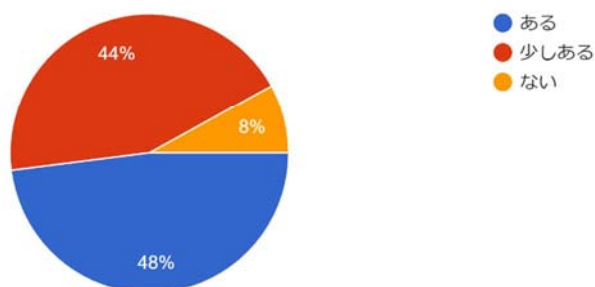
#### (3)技術面での課題はありますか？

25 件の回答



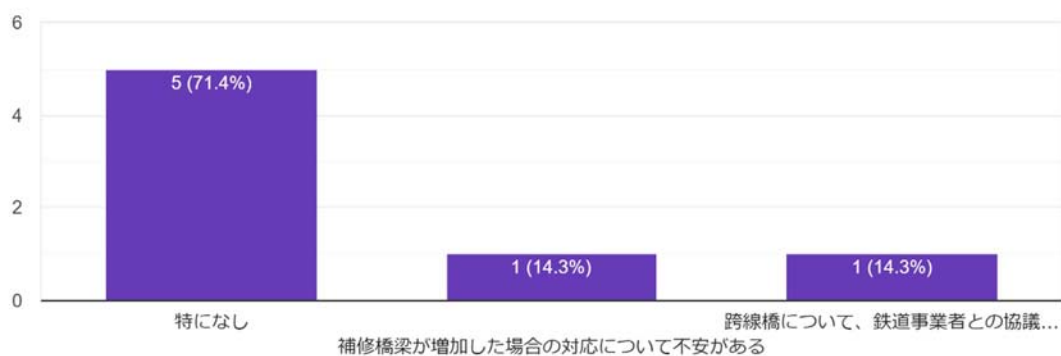
(4)人材面での課題はありますか？

25 件の回答



(5)その他の課題がありますか？

7 件の回答

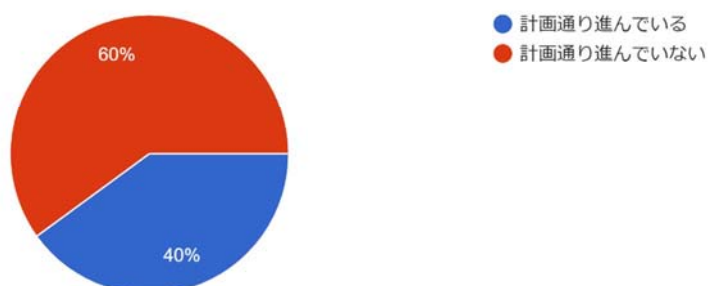


それぞれの意見は左から

- ・ 特になし
- ・ 補修橋梁が増加した場合の対応について不安がある
- ・ 跨線橋について、鉄道事業者との協議を慎重かつ計画的に進める必要がある。

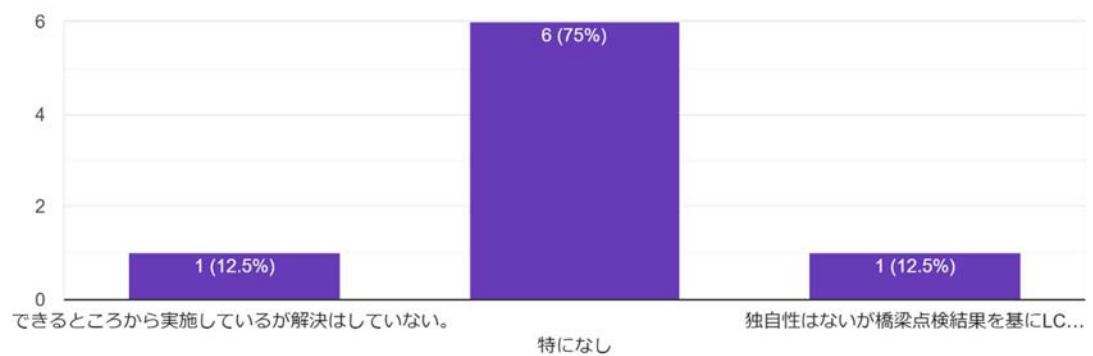
(6)修繕は計画通りに実施されていますか？

25 件の回答



(7)市町村独自に課題を解決や改善していることはありますか？

8 件の回答



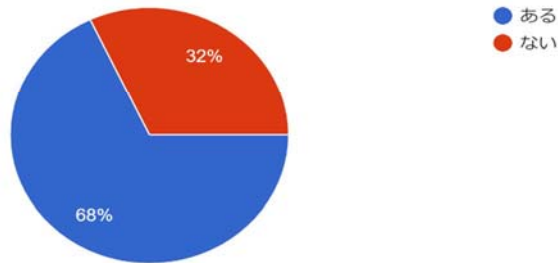
それぞれの意見は左から

- できるところから実施しているが解決はしていない。
- 特になし
- 独自性はないが橋梁点検結果を基に LCC を検討し、計画的に修繕等に取り組んでいる。

2. あなたの市町村が管理している橋梁の将来についてお答えください。

(1)将来に課題がありますか？

25 件の回答



(1)で「ある」と回答した人は具体的に課題を記述してください。17 件の回答

今後の維持管理

補修費用の増加

管理に対する技術・人材の不足、維持管理費用の増加

継続的な予算の確保とノウハウを引き継いでいけるかが課題

修繕優先の橋梁選定

土木系の職員が少なく、後継者を育てる状況ではない

供用から数十年と経過している橋梁が多いため、点検により判定が下がり、修繕や架替えの計画が多くなることが予想される。

修繕計画に基づき、予算を確保していく必要がある。

架替・撤去・集約の検討

予算確保が困難

補修橋梁の増加も予想され、補修・委託費用についての不安や、人材不足が課題

管理する橋梁数が多く、老朽化に対して修繕が追い付かない

財政難、技術者不足の中、今後も適正に管理していけるのかが課題

橋梁の老朽化が進んでいく中で、橋梁の架け替えや補修を実施していくことになるが、技術者及び技術力が不足していること。

老朽化する橋梁の撤去・更新について具体的な方針が決まっていない。

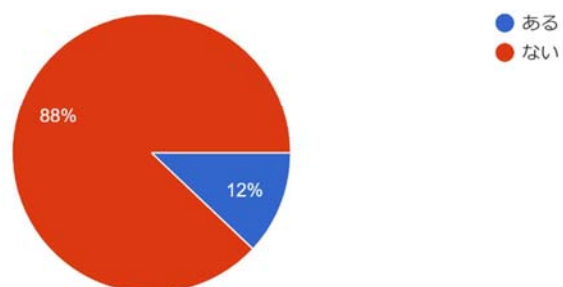
補修や架替に係る費用等

橋梁の見直しに伴って撤去する場合の住民の理解



(2)その解決策として検討していることはありますか？

25 件の回答



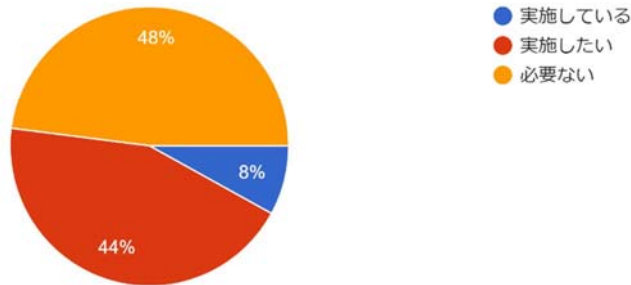
(2)で「ある」と回答した人は具体的にどんな解決策を検討しているか記述してください。3 件の回答

土木系の職員を採用してもらうように要望している  
ブリッジマネジメントシステム等を取り入れている  
計画的な予防保全対策等

3. 次のような解決策について、ご意見ををお願いします。

(1)周辺市町村と連携して対応していますか？

25 件の回答



(1)であなたがそれを選択した理由があればお書きください。13 件の回答

技術面や費用面など様々な部分

実施例や類似事例について連絡して確認している。

なにかあればコンサルに確認している。

具体的にどのような場合に連携が必要かという事例がないため必要か悩むところ。現状は事業として管内で対応できているため必要ないと回答。

現状必要性を感じていない

情報共有等。

特に必要性がないため

事例が少ない場合や、経験がない場合の参考となる情報が欲しい時がある

効率的な実施が見込めるため

橋梁の管理については、連携のしようがないと考える

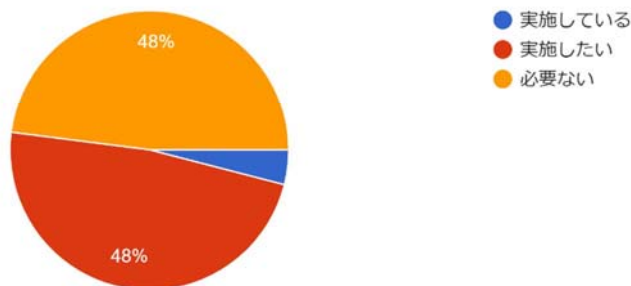
青森県メンテナンス会議等で対応しているため

連携しての対応は現在考えていない

どういう連携が図られるのか不明

(2)産学官と連携して将来を考えていますか？

25 件の回答



(2)であなたがそれを選択した理由があればお書きください。8 件の回答

問題点などを県に相談している

市町村だけでは解決できないため、連携することで解決や改善できることもあると考えている

連携により地域活性等のメットがあるかと思われるが、具体的な内容や知識がないため分からない。

現状必要性を感じていない

今のところは必要ないが、今後有用であれば連携していきたい

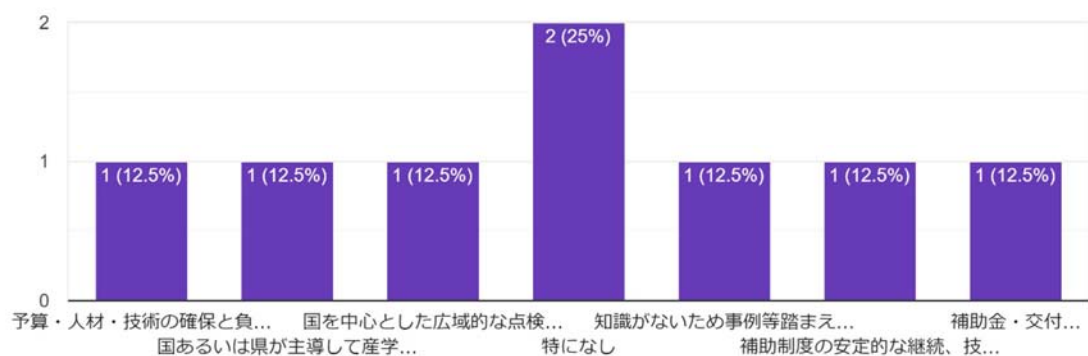
産・学の人材を活用して維持管理に役立てたい

連携しての対応は現在考えていない

必要ないではなく、まだ考えていない

(3)産・学・官（ここでは国あるいは県）に、解...することはありますか。具体的に記載して下さい。

8件の回答

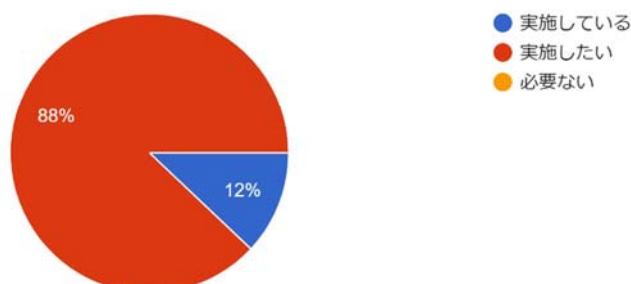


それぞれの意見は左から

- ・ 予算・人材・技術の確保と負担の軽減を希望します。
- ・ 国あるいは県が主導して産学官の連携を検討して欲しい。
- ・ 国を中心とした広域的な点検及び修繕を望む。
- ・ 特になし
- ・ 知識がないため事例等踏まえて説明会等により理解を深めたい。
- ・ 補助制度の安定的な継続、技術支援。
- ・ 補助金・交付金等の確保

(4)維持管理が簡単な橋梁に切り替えていますか？

25 件の回答



(4)であなたがそれを選択した理由があればお書きください。8 件の回答

修繕をメインに行っている

維持管理の負担軽減になるため

費用検討が第一ではあるが、小規模な橋梁の改修等は BOX などに切り替えている。

小規模橋梁については、ボックスカルバートにするなど維持管理が容易となる構造物にしたいとは考えている。

維持管理費削減のため

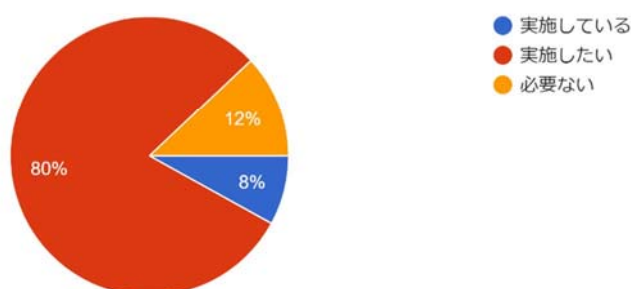
橋長の短い橋梁が多く、維持管理の簡単な橋梁へ切り替えられるのであればしたい

長期的な維持管理を考慮したため

維持管理費等の軽減につながると思われるため

(5)100年を考えた橋梁整備を実践していますか？

25 件の回答



(5)であなたがそれを選択した理由があればお書きください。9 件の回答

100年までではないが50年以上を想定して整備している

コスト削減のため

100年後にはさらに予算確保することが困難になっているとおもうため

改修事業等を行う際は100年でLCCを算出し、費用や現場に適した方法を検討している。

上記と同様になるが、維持管理が容易となる構造物にしたいと考えている。

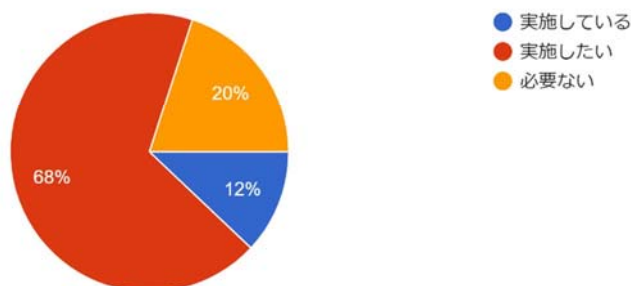
必要性は理解しているが、予算の都合で実践できていない

知識はないが将来を考えた維持管理ができるのは理想

長期的な維持管理を考慮したため  
実践していない

(6)橋梁の集約化あるいは削減を実施していますか？

25 件の回答



(6)であなたがそれを選択した理由があればお書きください。 11 件の回答

今後の課題として考えている

集約化や削減することで点検費用の削減につながるため

既設橋梁をボックスカルバートに置き換えている。

交通量がほとんどない橋に対しても点検や補修の維持費がかかるため、集約化することで費用負担を軽減できるため。

地域の特性上集約化等ができる橋梁がない

補助制度の根幹であり、今後の検討課題でもある。

維持管理費削減のため

村道橋以外の橋梁で検討が必要

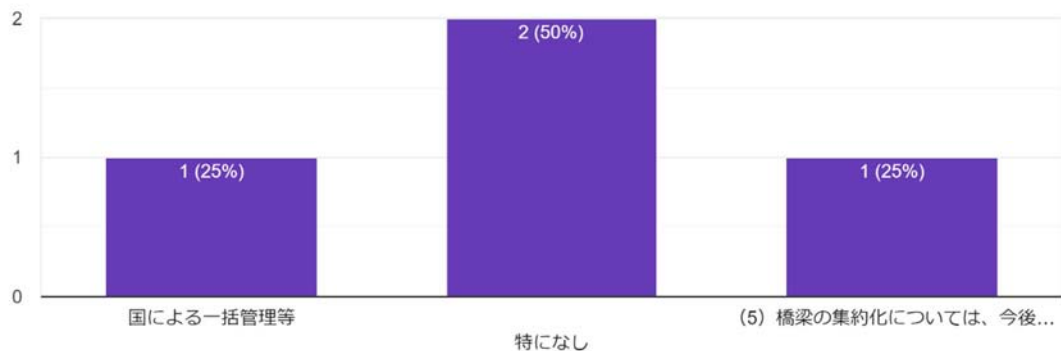
持続可能な維持管理を目指すため。

長期的な維持管理を考慮したため

集約化、削減は現実的には難しいが検討する予定

(7)その他の解決策についての考えがあればお書きください。

4 件の回答



それぞれの意見は左から

- ・国による一括管理等

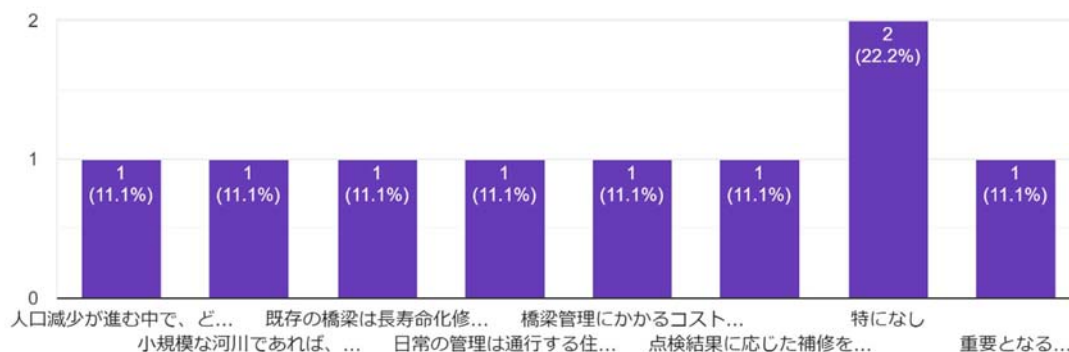
- ・特になし

- ・(5) 橋梁の集約化については、今後、避けて通れない課題であると思います。選択・集中は橋梁に限らず、行政財産すべてに繋がるものであることから、都市計画マスタープラン等の個別計画を踏まえながら検討していきたい。

#### 4.橋梁の将来のあり方について、自由に意見をお書きください。

橋梁の将来のあり方について、自由に意見をお書きください。

9件の回答



それぞれの意見は左から

- ・人口減少が進む中で、どのように維持管理に取り組むべきであるかが大変難しい
- ・小規模な河川であれば、カルバート化するなど検討して行く必要がある。
- ・既存の橋梁は長寿命化修繕計画において補修工事を実施し、小規模橋梁においては工法の経済比較を行いながら BOX.C に変更するなどの措置が必要ではないか
- ・日常の管理は通行する住民と職員で協力して行い、コンサル点検による費用を低減。早期補修により補修費用を低減させて橋梁を管理していきたい。
- ・橋梁管理にかかるコストを削減していくためには、橋梁の撤去・集約化を進めていくことが重要と考える。
- ・点検結果に応じた補修を進めており、概ね計画どおりに対応できている。今後の課題としては年月が数十年たっている橋梁が多いため、判定がⅡ、Ⅲの橋梁が増えてくると予想される。必要に応じた補修や改修を行っていくこととなるが、費用や担当者の知識不足等により業者の案に対して正しく意見できるか不安なところ。
- ・特になし
- ・重要となる橋梁とその他の橋梁を判別し、適正な維持管理に努めること。

## 謝辞

本論文の作成にあたり、小生が学部生の時より様々な面で終始、御指導・御鞭撻を賜りました准教授 迫井裕樹先生に心から深く感謝いたします。

教授 阿波稔先生、教授 金子賢治先生には副査として多くの御指導・激励をいただきました。深く感謝しております。

戸工業大学名誉教授 長谷川明先生には研究の方向性など御指導・助言をいただき、深く感謝いたします。

准教授 高瀬慎介先生には構造解析やアンケート調査をはじめ、業務に携わる相談にも対応いただきました。深く感謝いたします。

故 准教授 橋詰豊先生には博士課程入学以前より、構造に関する共同研究を通じ、多くの御指導をいただきました。深く感謝いたします。

今後とも、御指導・御鞭撻のほど改めて宜しくお願い致します。

青森県県土整備部道路課の皆様には、調査活動への助言、資料の提供を。青森県内各市町村の建設課や維持管理課など、県内の道路橋維持管理の実務担当者の方々にはアンケートにご協力いただきました。ここに記し、ご協力いただいた皆様に感謝申し上げます。

今後の青森県のインフラメンテナンスに寄与できれば幸いです。

また、筆者の所属する株式会社 技研 代表取締役社長 鷲尾晴実氏には博士後期課程入学を後押ししていただき、著者の技術力向上に対し多大な理解を示していただきました。同 専務取締役 後藤琢磨氏には通常業務の傍ら、学業に専念できるよう様々な面でサポートしていただきました。併せて、同 技術部の部長代理 小笠原重延氏、課長 高橋寛基氏、金枝龍子氏、佐竹伸子氏、併せて打川一男顧問、秋葉正一常務、総務課長 菖蒲川ひとみ氏をはじめ、株式会社 技研の皆様には、筆者の業務遂行および通学、学業に邁進できるよう御協力いただきました。皆様のサポート無くしては本論文を完成させることはできませんでした。深く感謝いたします。

最後に、いつも優しく見守ってくれた両親、兄弟、亡き祖父母。在学中、家庭のサポートをしていただいた義父母。そして、私をいつも明るく支えてくれた妻 澄恵、帰りが遅くなってもいつも「博士がんばれー！」と応援してくれた、長女 真優、次女 恵奈、三女 耀子に心から感謝の意を表し、謝辞とさせていただきます。