

角形鋼管を用いた鉄筋コンクリート 充填鋼管構造に関する実験

片岡 範 俊*・塩井 幸 武**・長谷川 明***

Experiment on Reinforced-concrete-filled-tube Using Square Steel Pipe

Noritoshi KATAOKA*, Yukitake SHIOI**and Akira HASEGAWA***

Abstract

Collapse of structures like buildings or bridges in Hyogoken-nanbu-earthquake, should be prevented. Excellent mechanical performances like strength and displacement are required for the structures. If high performance on strength and displacement will be given, we can construct smaller size structures and use effectively the space of cities. Reinforced concrete filled steel tube (RCFT) will be able to have these required mechanical characteristics. Therefore, the tests on RCFT author are continued to research the mechanical characteristics.

From the points of design and construction, we want to use square shape tube as the steel pipe. This paper shows the results of compression test, bending test, especially the results of influence of reinforcements and steel-thickness.

Key words: square steel tube, reinforced concrete filled steel tube, compression test, bending test, concrete filled steel tube

1. はじめに

兵庫県南部地震で橋脚などが受けた大きな被害を防止するために、耐荷力と変形性能の向上が求められている。小規模構造で高い耐荷力と変形性能が得られれば、狭い都市空間を多角的に活用することができる。鉄筋コンクリート充填鋼管構造(RCFT)は、このような要求に対して、大きな性能を有することができると考えられることから、その力学的特性を調査するために実験を行ってきている。設計と施工を考えると、この鋼管として角形鋼管を使用したい場合がある。そこで、角形鋼管を使用した場合の、

RCFTの力学的特性を把握する目的で、圧縮せん断試験および曲げ試験を行った。特に、鉄筋配置、鋼管板厚などが、力学的特性にどのような影響を与えるかについて、実験を行った。

2. CFT 構造・RCFT 構造の概説

図-1に示すコンクリート充填構造(Concrete filled steel tube: CFT)は合成構造の一種で、鋼管とコンクリートの異種材料を部材レベルまたは構造システムレベルで結合し、一体となって機能する構造物である。素材としての鋼管とコンクリートの長所を活かし互いの短所を補完しあうことで、単一材料より優れた耐荷能力と変形能力を有し、特に繰り返し荷重下での耐震能力に優れている。またコンクリート打設時には型枠が不要となり、施工時には省力化・省ス

平成 15 年 12 月 19 日受理

* 大学院工学研究科土木工学専攻博士前期課程・1 年

** 大学院土木工学専攻・教授

*** 大学院土木工学専攻・教授



図-1 コンクリート充填構造
Concrete filled tube (CFT)



図-2 鉄筋コンクリート充填構造
Reinforced concrete filled tube (RCFT)

ペース化につながる。




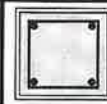
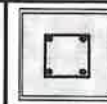
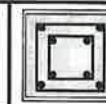
一方、図-2 に示す鉄筋コンクリート充填構造 (Reinforced concrete filled steel tube: RCFT) は CFT に鉄筋を加えた構造で、鋼管と充填コンクリートの一体化が促進され、より耐荷力が高く変形性能も優れているものと考えられる。

3. 圧縮せん断試験

試験に使用した試験体一覧を表-1 に、試験体の寸法と鉄筋配置を図-3 にそれぞれ示す。試験体の充填状況により中空、低強度コンクリート

充填、高強度コンクリート充填、高強度コンクリートでかぶりの大きい RC、かぶりの小さい RC、2 重配筋 RC の 6 種類に分類され、それぞれ鋼管を使用するタイプと鋼管を使用しないタイプの 2 種類作成し、計 33 体について圧縮せん断試験を行った。また、単純累加強度を求めるために RCFT 試験体、CFT 試験体の充填部分と同様の材料、寸法、配筋とした鋼管のない RC のみ試験体 15 体についても同様の試験を行った。試験体は一辺 125 mm の正方形断面で、高さ 300 mm とした。鋼管の板厚は 3.2 mm、4.5

表-1 圧縮せん断試験で使用した試験体番号

断面形状						
板厚	配筋状況					
	中空	低強度	高強度	大帯鉄筋	小帯鉄筋	二重帯鉄筋
3.2mm	32CH-SC	32LM-SC	32HM-SC	32HB-SC	32HS-SC	32HW-SC
4.5mm	45CH-SC	45LM-SC	45HM-SC	45HB-SC	45HS-SC	45HW-SC
6.0mm	60CH-SC	60LM-SC	60HM-SC	60HB-SC	60HS-SC	60HW-SC
鋼管無し	-	CLM-SC	CHM-SC	CHB-SC	CHS-SC	CHW-SC

※鋼管なしは3体ずつ

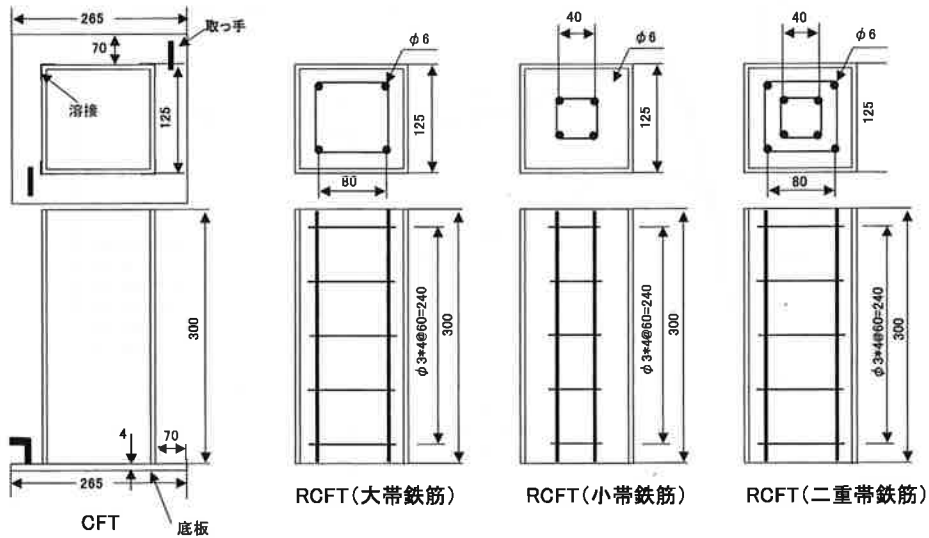


図-3 圧縮せん断試験：試験体

mm および 6.0 mm とした。テストピースによる圧縮強度は、低強度コンクリートで 28.0 N/mm^2 、高強度コンクリートで 43.4 N/mm^2 であった。

3.1 試験結果

試験体には、変位計およびひずみゲージを取り付け、荷重との関係を調査した。荷重は、塑性範囲では、3回の繰返し荷重をかけ耐震性機能を調査した。また、充填コンクリートの機能を観察するため、破壊後、鋼管を剥離し内部コンクリートの状況を調査した。

図-4 は、板厚が 6 mm の試験体の荷重変位曲線である。このような荷重変位曲線から、最大荷重、靱性率および合成効果を求めた。これを表-2 に示す。

3.2 最大荷重

最大荷重は、板厚が大きいほど大きな値となっている。鉄筋の役割は、鋼管とコンクリートの一体化を促進し、特にせん断力への抵抗性として大きな役割を果たすと考えられた。しかし、中心部を鉄筋で補強する小帯鉄筋の鉄筋配

置試験体が特に優れている結果とはなっていない。ただし、2重に帯鉄筋を配置した試験体は、いずれの板厚でも最大荷重を示した。このように、鉄筋配置による差が小さかった要因としては、鋼管を巻くことにより鉄筋の外部が拘束されるため、有効断面積が帯鉄筋の大小に関係なく最大荷重には影響が少なかったものと考えられる。

3.3 靱性率

最大荷重時の靱性率と 95% 時の靱性率を比較すると、60LM-SC は最大荷重時の靱性率より 95% 時の靱性率の方が 1.45% 上回りより高い靱性を発揮した。また、全体を通してみると低強度コンクリートを充填したものが、高い粘り強さを発揮した。3.2 mm, 4.5 mm, 6.0 mm と試験体別に低強度コンクリートと高強度コンクリートで比べると、すべての鋼管の厚さで低強度コンクリートが高い靱性を示すということが明らかとなった。これは、高強度コンクリートを使用した試験体は最大荷重後の耐荷力が急激に変化することの影響と考えられ、変形性能は低強度コンクリートの方が有利であることが示

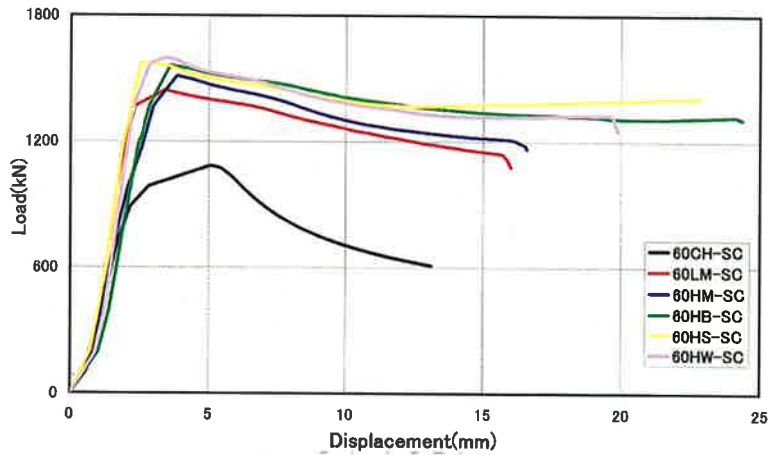


図-4 圧縮せん断試験：荷重変位曲線（板厚が6 mmの場合）

表-2 圧縮せん断試験の最大荷重，靱性率および合成成果

試験体名	鋼管厚さ (mm)	充填状況	最大荷重 (KN)	靱性率 δ_T/δ_y	靱性率 δ_{95}/δ_y	合成成果
32CH-SC	3.2	中空	421.67	1.84	2.05	—
32LM-SC	3.2	低強度コンクリート	865.05	2.61	3.24	0.99
32HM-SC	3.2	高強度コンクリート	1,115.79	1.48	1.63	1.09
32HB-SC	3.2	大帯鉄筋	1,028.44	1.70	2.01	1.00
32HS-SC	3.2	小帯鉄筋	984.49	1.49	1.93	0.93
32HW-SC	3.2	二重帯鉄筋	1,176.61	1.43	1.70	1.17
45CH-SC	4.5	中空	788.02	1.60	1.93	—
45LM-SC	4.5	低強度コンクリート	1,064.53	1.46	2.69	0.86
45HM-SC	4.5	高強度コンクリート	1,312.97	1.34	1.67	0.95
45HB-SC	4.5	大帯鉄筋	1,301.20	1.63	2.08	0.93
45HS-SC	4.5	小帯鉄筋	1,329.45	1.47	1.93	0.94
45HW-SC	4.5	二重帯鉄筋	1,373.01	1.25	1.93	1.00
60CH-SC	6.0	中空	1,083.42	2.60	2.99	—
60LM-SC	6.0	低強度コンクリート	1,444.03	1.92	3.37	0.94
60HM-SC	6.0	高強度コンクリート	1,512.70	1.45	2.26	0.90
60HB-SC	6.0	大帯鉄筋	1,561.75	1.41	2.75	0.92
60HS-SC	6.0	小帯鉄筋	1,563.71	1.27	2.45	0.91
60HW-SC	6.0	二重帯鉄筋	1,599.42	1.67	2.59	0.96
CLM-SC	鋼管無し	低強度コンクリート	449.35	—	—	—
CHM-SC	鋼管無し	高強度コンクリート	598.65	—	—	—
CHB-SC	鋼管無し	大帯鉄筋	606.98	—	—	—

された。

3.4 合成効果

今回は塑性領域における合成効果も調査し

た。これによると、最大荷重時の合成効果は32HW-SCが最も高い結果であった。また、塑性領域（変位10mm）における合成効果は、32HW-SCが最も高い結果であった。これらか



写真-1 圧縮せん断試験破壊状況：鋼管のみ試験体 (60CH-SC)



写真-4 圧縮せん断試験破壊状況：(60 HB-SC)



写真-2 圧縮せん断試験破壊状況：(60 LM-SC)



写真-5 圧縮せん断試験破壊状況：(60 HS-SC)



写真-3 圧縮せん断試験破壊状況：(60 HM-SC)



写真-6 圧縮せん断試験破壊状況：(60 HW-SC)

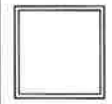

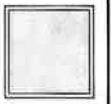
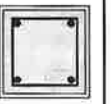
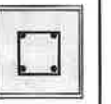
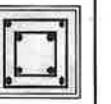
ら、最大荷重時から塑性領域に移行するに従い、合成効果が向上し、塑性領域における合成効果は最大荷重時における合成効果と比べ、優れているのが分かる。また、鋼管別では、3.2 mmの鋼管が優れていた。

3.5 破壊状況

写真-1～6 に各試験体の破壊状態をそれぞれ示す。中空鋼管試験体では、試験体下部に局部座屈が見られた。RCFT および CFT 試験体のほとんどの試験体は、上部から下部へと斜め方

向に局部座屈が発生していた。また、試験終了後に鋼管をカットし内部コンクリートの破壊状況を確認したところ、鋼管の変形とほぼ同様の流動的なコンクリートの変形がみられ、大きなクラックや損傷は見られなかった。このことから、鋼管によって周辺を拘束されることによって、内部コンクリートは、鉄筋コンクリート単独の変形・破壊とは大きく異なって、鋼管と同様な変形まで追従し、大きな変形に至るまで機能を果たしていることがわかった。

表-3 曲げ試験で使用した試験体番号

断面形状						
板厚	配筋状況					
	中空	高強度	低強度	大帯鉄筋	小帯鉄筋	二重帯鉄筋
3.2mm	32CH-SB	32LM-SB	32HM-SB	32HB-SB	32HS-SB	32HW-SB
4.5mm	45CH-SB	45LM-SB	45HM-SB	45HB-SB	45HS-SB	45HW-SB
6.0mm	60CH-SB	60LM-SB	60HM-SB	60HB-SB	60HS-SB	60HW-SB

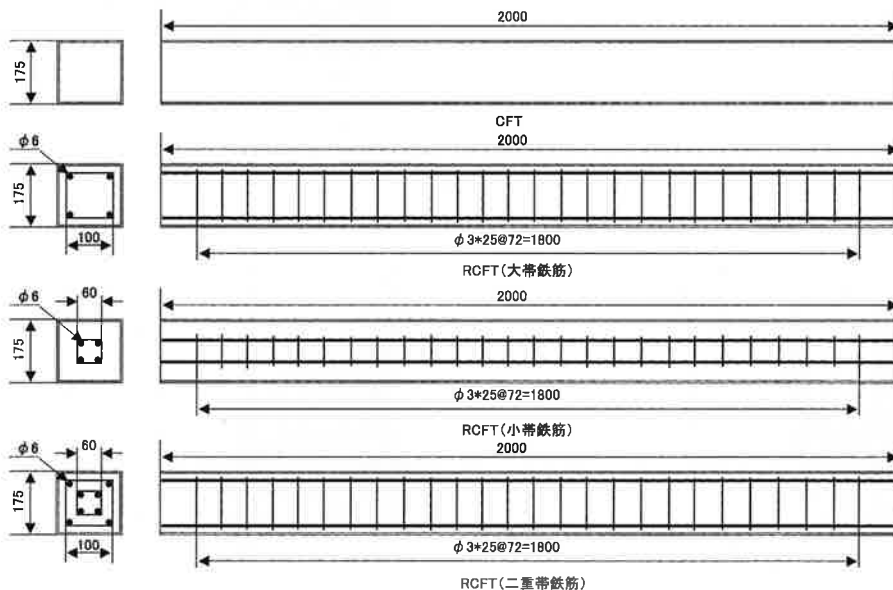


図-5 曲げ試験：試験体

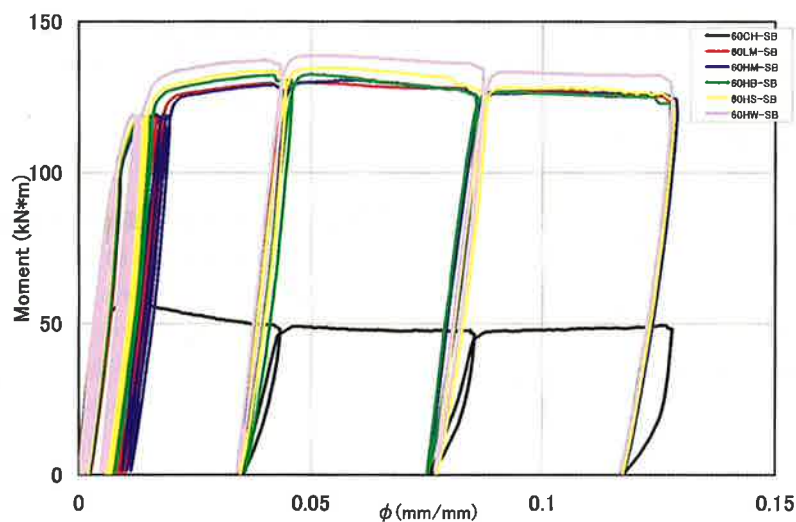


図-6 曲げ試験：M- ϕ 曲線（板厚が 6 mm の場合）

表-4 曲げ試験の最大曲げモーメント，靱性率および鋼管のみ試験体との比

試験体名	鋼管厚さ (mm)	充填状況	最大曲げモーメント (KN・m)	靱性率 δ_r/δ_y	鋼管との最大曲 げモーメントの 比較
32CH-SB	3.2	中空	21.71	1.08	—
32LM-SB	3.2	低強度コンクリート	64.93	5.09	2.99
32HM-SB	3.2	高強度コンクリート	61.67	2.50	2.84
32HB-SB	3.2	大帯鉄筋	75.21	5.53	3.46
32HS-SB	3.2	小帯鉄筋	68.72	3.05	3.17
32HW-SB	3.2	二重帯鉄筋	75.29	5.38	3.47
45CH-SB	4.5	中空	42.66	1.37	—
45LM-SB	4.5	低強度コンクリート	106.23	5.42	2.49
45HM-SB	4.5	高強度コンクリート	109.12	5.64	2.56
45HB-SB	4.5	大帯鉄筋	108.39	5.90	2.54
45HS-SB	4.5	小帯鉄筋	113.04	5.64	2.65
45HW-SB	4.5	二重帯鉄筋	116.06	5.86	2.72
60CH-SB	6.0	中空	56.87	2.16	—
60LM-SB	6.0	低強度コンクリート	129.56	5.16	2.28
60HM-SB	6.0	高強度コンクリート	129.00	5.04	2.27
60HB-SB	6.0	大帯鉄筋	132.26	5.11	2.33
60HS-SB	6.0	小帯鉄筋	133.64	5.21	2.35
60HW-SB	6.0	二重帯鉄筋	137.14	5.22	2.41

4. 曲げ試験

曲げ試験に使用した試験体一覧を表-3に、試験体の寸法と鉄筋配置を図-5にそれぞれ示す。試験体は、圧縮せん断試験で使用した試験体の材料および鉄筋配置は同様になっているが、一辺175 mmの正方形断面で、長さ2,000 mmと、圧縮せん断で使用した試験と比べ大型なものとなっている。

4.1 試験結果

試験は、圧縮せん断試験と同様に、塑性域で3回の繰り返し荷重をかけ耐震性を調査した。図-6に6mm試験体の $M-\phi$ 曲線を示す。コンクリートあるいは鉄筋コンクリートが充填された試験体の最大荷重が、鋼管のみ試験体に比べ飛躍的に増大することがわかる。また、表-4は、このような $M-\phi$ 曲線から求められた最大曲げモーメント、靱性率および鋼管の曲げモーメントの比を示している。

4.2 最大曲げモーメント

板厚が厚いほど最大曲げモーメントは向上した。板厚が厚ければ、中空鋼管自身の最大曲げモーメントが大きいこと、板厚の拘束効果が高いことが、その理由と考えられる。中でも60 HW-SBの最大曲げモーメントはもっとも大きなものとなった。鉄筋配置でみると、内部に二重帯鉄筋を充填した試験体が、比較的高い最大曲げモーメントを示した。3.2 mm 鋼管を使用した試験体を除いて、大帯鉄筋、小帯鉄筋、二重帯鉄筋の順で最大曲げモーメントは向上することが明らかとなった。鉄筋を入れないCFT試験体では、高強度と低強度による最大曲げモーメントの違いは明確とならなかった。

4.12 靱性率

鋼管の厚さという点で靱性率を見ていくと、厚いほど靱性率が向上していくというものでも、薄いほど向上するというものでもなかった。

また、コンクリートの低強度と高強度を比較して見ても、大差がなくほぼ同等の靱性率であった。次に配筋の相違による影響であるが、これについては二重帯鉄筋を充填したものが、すべてにおいて優れていて、ついで小帯・大帯鉄筋という結果となった。

4.3 強度増大率：鋼管のみ試験体との最大曲げモーメントの比

強度増大率を表すために、各 RCFT・CFT 試験体の最大曲げモーメントと、中空鋼管の最大曲げモーメントとの比を求めた。鉄筋の違いから検討してみると、二重帯鉄筋が最も優れた強度増大率を示した。また、3.2 mm では32 HW-SBが最も優れた強度増大率を示した。4.5 mm では45 HW-SBが最も優れた強度増大率を示した。6.0 mm では60 HW-SBが最も優れた強度増大率を示した。しかし、大帯鉄筋、小帯鉄筋および二重帯鉄筋の配筋の種類による強度増大率にはそれほど大差は無かった。

4.4 曲げ破壊状況

写真-7～12に各試験体の破壊状態をそれぞれ示す。全ての試験体は載荷点で鋼管の局部座屈が見られた。試験終了後、鋼管をカットし充填コンクリートの破壊状況を観察したところ、鉄筋を加えてないCFT試験体の充填コンクリートは、斜め方向または鉛直方向に破断が見られたが、鉄筋を挿入したRCFT試験体では、破断はほとんど見られなかった。

6. ま と め

6.1 圧縮せん断試験

- (1) CFT, RCFT は、鋼管, RC と比べ強度、靱性において優れている。
- (2) CFT に強度の高いコンクリートを充填すると、破壊時に脆性破壊する傾向が見られる。特に、径厚比の大きな試験体で顕著である。

- (3) 鉄筋を入れることにより、最大耐荷力の増大はあまり見られなかったが、靱性の面で優れており、終局限界状態でその効果を期待できる。
- (4) 鋼管が厚ければ靱性が高くなるとは限らず、断面にしめる鋼管と、コンクリートのバランスが重要である。
- (5) RCFT は、充填コンクリートがせん断破



写真-7 曲げ試験破壊状況：鋼管のみ試験体 (60 CH-SB)



写真-10 曲げ試験破壊状況：(60-HB-SB)



写真-8 曲げ試験破壊状況：(60 LM-SB)



写真-11 曲げ試験破壊状況：(60-HS-SB)



写真-9 曲げ試験破壊状況：(60-HM-SB)



写真-12 曲げ試験破壊状況：(60-HW-SB)

壊しても、急激に耐力を失わず、靱性に富む部材である。

6.2 曲げ試験

- (1) CFT, RCFT は、鋼管と比べ強度、靱性の面で優れている。
- (2) RCFT は、CFT と比べ高い強度と、靱性を発揮する。中でも二重配筋試験体はその効果が大きく、終局限界状態においても形状保持の効果が期待できる。
- (3) RCFT と、CFT は破壊形状で大きく異なる。CFT は、載荷点で充填コンクリートに破断が見られたが、RCFT ではひびわれは見られるものの、破断までは至ってなかった。
- (4) RCFT は、CFT と比べ高い強度と、靱性を発揮する。中でも二重配筋試験体はその効果が大きく、終局限界状態においても形状保持の効果が期待できる。

以上のことから、CFT, RCFT 構造は従来の RC 構造、鋼構造と比較して終局限界状態にお

いて優れた強度、靱性、変形性能を有することが証明された。本試験によって角形鋼管を利用した RCFT の力学的挙動に関する知見を与えることができた。

今後、円形鋼管との比較など検討を続ける予定である。

参考文献

- 1) 日本建築学会, コンクリート充填鋼管構造設計施工指針 (1997.10)
- 2) 日本建築学会, 鋼構造限界状態設計指針・同解説 (1998.10)
- 3) 日本建築学会, 鋼管構造設計施工指針・同解説 (1980.2)
- 4) 王海軍, 超長大橋のための鉄筋コンクリート充填鋼管構造に関する研究 (2001.2), 八戸工業大学博士論文
- 5) 長谷川明, 橋梁システムの耐震設計法に関する研究 (2002.3)
- 6) 日本建築学会, 構造委員会, 鋼コンクリート合成構造運営委員会, 鋼コンクリート合成構造の設計・研究の動向と 21 世紀への期待 (2002.11)
- 7) 石橋博則, 鉄筋コンクリート充填鋼管構造の力学的特性に関する実験的研究 (2002.3), 八戸工業大学修士論文