

繰り返し水平力を受ける L 型擁壁の低サイクル疲労実験

王 海軍*, 長谷川 明**, 塩井 幸武***, 庄谷 征美****

Experiment on low cyclic fatigue of L type retaining wall subjected to the horizontal cyclic load

Haijun WANG*, Akira HASEGAWA**, Yukitake SHIOI***
and Masami SHOYA****

Abstract

L type retaining wall is usually used to control collapse settlement of stiff soil. In cold area, the freeze-thaw cycle of soil produces horizontal cycling earth pressure. The number of iteration of the horizontal pressure is smaller than the number of cyclic load in the case of floor system of railway or road. Therefore, an experiment was carried out to evaluate the effect of the horizontal cyclic load. According to the experiment and analysis, it is shown that: (1) The retaining wall was destroyed at lower cycling load than the horizontal ultimate load even if the number of iteration of the horizontal pressure is very small, (2) The cyclic load destroying the retaining wall was reduced with the increasing of iteration number.

Keywords: L type retaining wall, horizontal cyclic load, fatigue

1. はじめに

擁壁は、盛土または切土の勾配が自然の状態では土の崩壊の可能性があるときに土留め壁として使用されるものである。L 型擁壁は、鉛直壁と底盤の 2 平板から成る擁壁で、壁高の小さい擁壁として土地造成等の建設現場で広く使用されている。逆 T 型擁壁の底盤のつま先部がなく、かかと部のみで構成されている構造であるため、土地造成では効率的な土地の利用が可能となり、経済性に優れている。特に、プレキャストコンクリートとして製作される場合には、その形状から製作上も優れた経済的特性を持つ。

この擁壁に作用する荷重の主たるものは土圧と自重である。寒冷地では、外気温と地中温度の変化に伴って、擁壁壁面に作用する土圧は変化している。図-1 は現地で観測された擁壁壁面に作用する土圧の日変化曲線の一例である。外気温と地中温度が低下して、地盤が凍結し、膨張しようとすることによって土圧が大きくなり、気温のサイクルに類似して土圧は繰り返し擁壁に作用している。したがって、寒冷地においては地盤の凍結・融解現象による繰り返し水平荷重を発生する可能性がある。

しかし、この繰り返し回数は地域・地盤によって異なるものの、橋梁に加わる列車荷重や自動車荷重の繰り返し回数に比べて、極めて小さいものである。このような繰り返し回数が少ない荷重による疲労実験の報告は少ない。

写真-1 は、寒冷地においてプレキャスト擁壁を建設後数年経過した L 型プレキャスト擁壁の破壊状況である。鉛直壁下部に水平にひび割

平成 10 年 10 月 16 日受理

* 大学院工学研究科土木工学専攻博士後期課程・2 年

** 土木工学科・教授

*** 構造工学研究所・教授

**** 土木工学科・教授

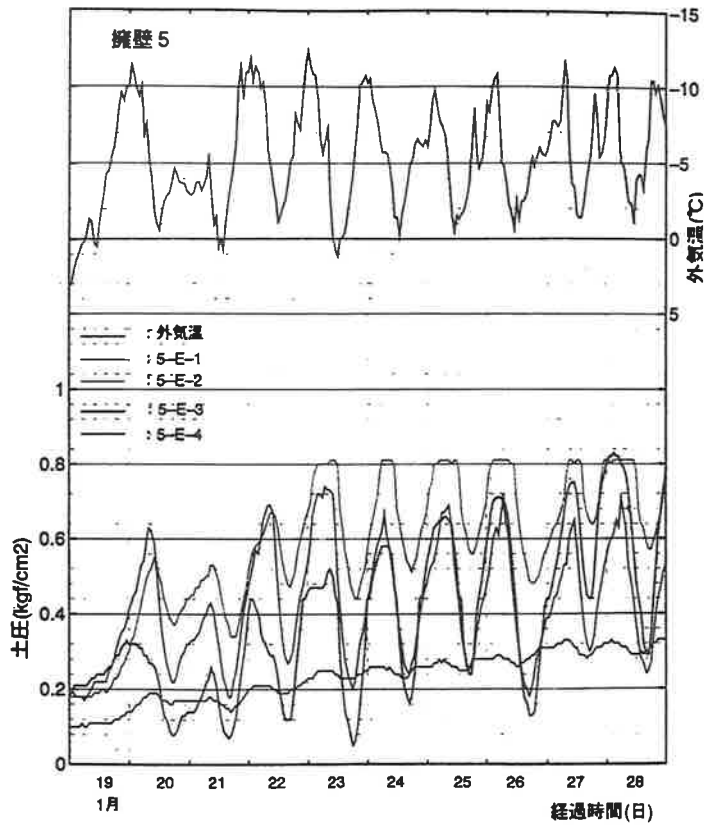


図-1 土圧の日変化曲線

れが発生しており、この位置で鉛直壁はわずかに傾いている。また、写真-2は破壊した擁壁を取り出したもので、鉛直壁と底盤の取り付け部に大きな亀裂が見られた。このような破壊状況から、この擁壁には設計時に想定していない水平荷重が作用し破壊したと考えられた。水平荷重としては、次のような要因が考えられた。

- (1) 設計で考慮されていない上載荷重による水平力
- (2) 背面土砂の凍結融解作用による繰返し水平力
- (3) その他

(1) については、設計において上載荷重が 1 tf/cm^2 であるとして計算されているが、周辺の上載荷重は低層の住宅であって、この値を越える荷重が載荷された状況は考えられない。一方、

(2) の繰返し機構としては、① 背面土砂の凍結による水平力増大によって擁壁が全面に傾く、② 背面土砂の融解によって水平力が減少し、背面土砂と擁壁背面に間隙が生まれる、③ その間隙に新たに上部から土砂が供給され、背面土砂と擁壁背面の間隙が消失する、という繰返し作用が推定された。

そこで本実験では、実物試験体を使用してプレキャストL型擁壁の水平繰返し実験を行い、上記のような破壊が発生する可能性があるか調査した。

本論文では、その実験概要、実験結果および得られた知見について述べる。



写真-1 現地の擁壁の破壊状況

2. 実験概要

(1) 試験体

試験体は $1,200\text{ mm} \times 1,500\text{ mm} \times 2,000\text{ mm}$ のプレキャスト実物試験体 4 体である。使用されている鉄筋の許容引張応力度は $1,600\text{ kgf/cm}^2$ であり、コンクリートの設計基準強度は 300 kgf/cm^2 である。実験は、コンクリート打設後 28 日以降に行った。試験体寸法及び配筋を図-2 に示す。鉛直壁壁厚は上部で 8 cm、下部で 10 cm の単鉄筋断面となっており、主鉄筋として下部で D13 が 178 mm 間隔で使用されている。底盤部も同様に、かかと部で 8 cm、鉛直壁との接合部で 10 cm となった単鉄筋断面となっており、主鉄筋として D13 が 178 mm 間隔で使用されている。

(2) 実験装置と載荷方法

実験装置は写真-3 に示す水平載荷装置を使用した。試験体は、主に鉛直壁の水平力による破壊を調査することから、底盤を実験室床面に

45 mm ボルトを 8 本使用して固定した。水平力を受けて鉛直壁が傾くことによって全面下部にゴムシートを敷設することも検討されたが、破壊状況を見ながら対応することとし、最終的には使用されなかった。

鉛直壁載荷点は鉛直壁上端から 15 cm の位置に載荷面（幅 150 cm×高さ 10 cm）となる三角形治具により載荷した。載荷試験は一方向載荷試験 1 体（試験体 L1）、繰り返し載荷試験 3 体（試験体 L2～L4）で行った。三角形治具先端にはゴムシートを張り付け、載荷面（幅 150 cm×高さ 10 cm）に均一に荷重が伝達されるように配慮した。また、載荷面が水平から傾かないよう鉄管を使用して三角形治具が水平に移動するよう支保した。載荷は、ロードセルの荷重値をフィードバックして制御する荷重制御型載荷方法と、鉛直壁上部中央に取り付けた変位計（図-3 の d2）の値をフィードバックして制御する変位制御型載荷方法をとった。破壊荷重に至るまでの過程では荷重制御型載荷方法が、それ以降



写真-2 取り出した擁壁の破壊状況

の載荷については破壊の進行を注意深く観察しながら変位制御型載荷方法が採られた。載荷速度については、荷重制御型載荷方法の時は 0.02 tf/sec, 変位制御型載荷方法の時は 0.1 mm/sec を基準とした。

(3) 計測

計測項目は、変位 9 点、正面、裏および側面の上、中、下段のひずみ 36 点である。取り付け位置を図-3 に示す。計測ダイヤグラムを図-4 に示す。擁壁のひび割れはひび割れゲージを使用し目視によって観察した。

3. 実験結果及び考察

3.1 荷重と変位

(1) 一方向載荷 (試験体 L1)

図-5 に一方向載荷した試験体 L1 の荷重変位

曲線を示す。縦軸は水平荷重、横軸は鉛直壁左右 (観測位置は上端から 5 cm の位置) の変位の平均値である。

荷重が約 1.4 tf までは、荷重と変位は線形な関係を保っているが、1.4 tf で 3 mm の大きな変位が発生した。この時、鉛直壁下部のハンチ取り付け部 (底盤から 250 mm: 以下鉛直壁取り付け部) 背面で擁壁全幅にわたってひび割れが目視された。平均ひび割れ幅は 0.23 mm であった。このことから、この荷重約 1.4 tf までは、鉛直壁全断面が圧縮引張両側で有効に作用しており、この荷重で引張側コンクリートが破壊し、引っ張り力が主鉄筋に移動したものと考えられる。また、このとき大きな変位が発生した理由は、主鉄筋の位置が中立軸に近いことが影響していると考えられる。

繰り返し水平力を受ける L 型擁壁の低サイクル疲労実験

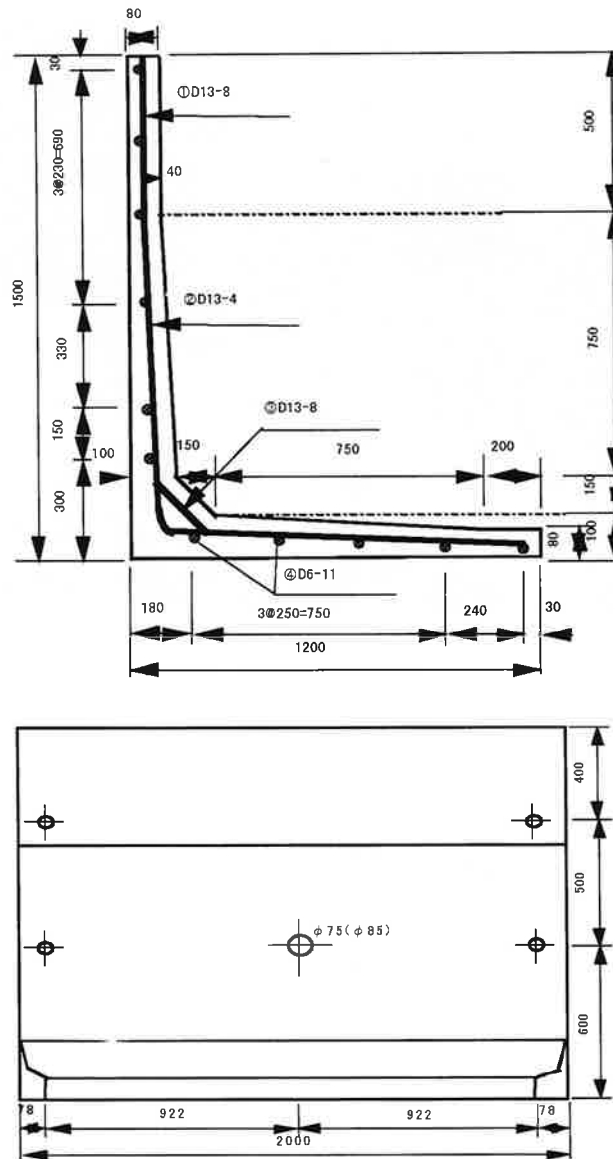


図-2 試験体寸法及び配筋

さらに荷重を増大させると、1.95 tf で降伏した。このとき鉛直壁取り付け部に作用する曲げモーメントは 2.44 tf・m (荷重 1.95 tf × うで 1.25 m) で、これが発生した最大抵抗曲げモーメントである。その後、変位制御で先端変位が 120 mm となるまで載荷した。

(2) 繰り返し載荷 (試験体 L2 から L4)
はじめに、繰り返しを行う荷重の設定についてつぎのような検討をした。

- ① L1 試験体の一方向載荷実験による破壊荷重は 1.95 tf であることから上限値 P_u は 1.95 tf 以下とする。一方、L1 試験体の一方向載荷実験によるひび割れ発生荷重

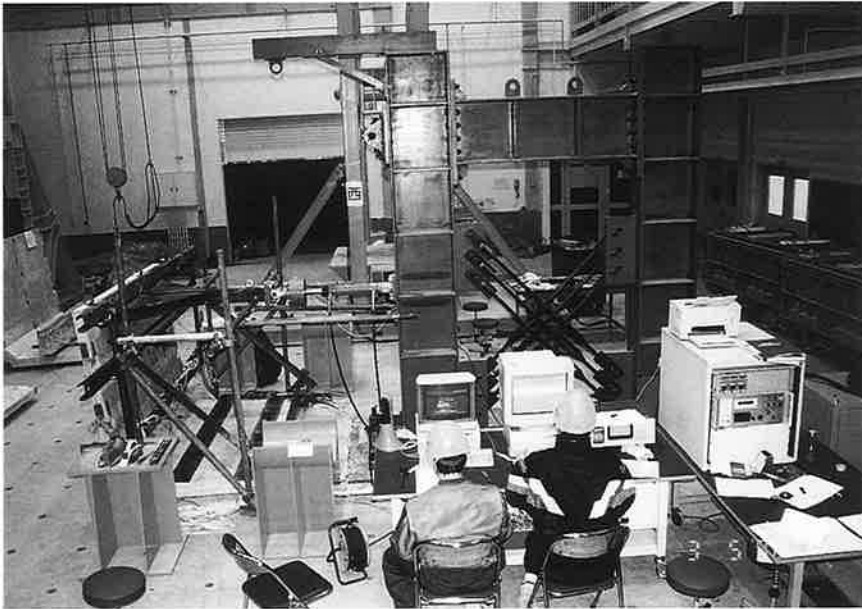


写真-3 実験装置

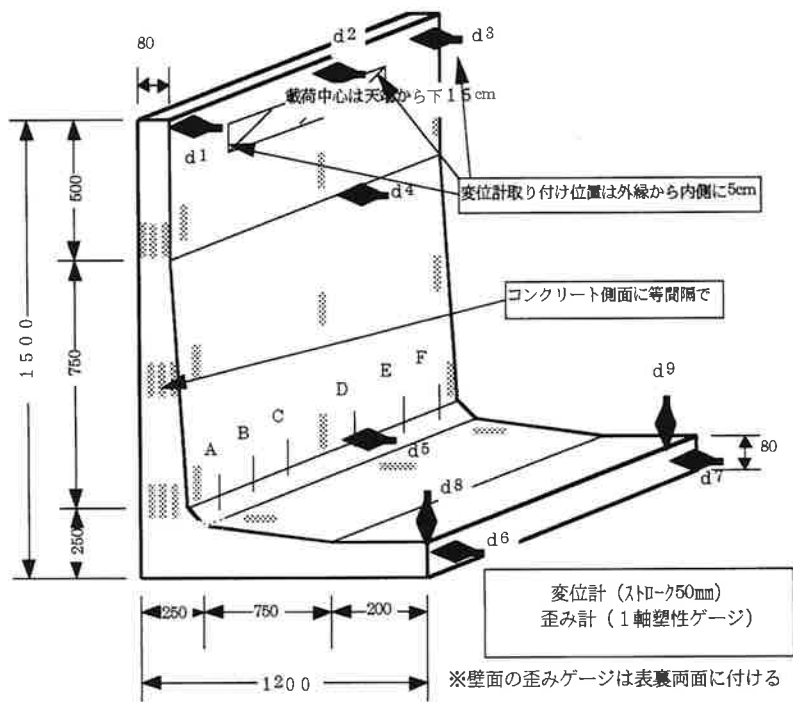


図-3 変位計及び歪みゲージの設置

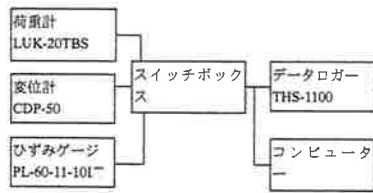


図-4 計測ダイアグラム

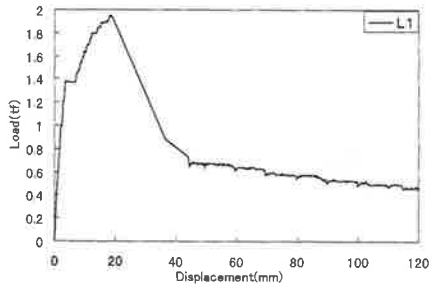


図-5 L1 の荷重変位曲線

は 1.4 tf であ

ることから、上限値 P_u は 1.4 tf 以上とする。

- ② L1 試験体の一方向荷重実験による残留耐力は 0.6 tf 程度であることから、下限値 P_L はこれを目安とする。
- ③ 繰り返し荷重の上限値 P_u と下限値 P_L の差（以下、荷重振幅という）は一定とする。
- ④ 実験を実施し、破壊に至る繰り返し回数を検討しながら次の設定値を検討する。

この結果、試験体 L2 から L4 の繰り返し荷重の上限値 P_u はそれぞれ 1.7 tf, 1.8 tf, 1.9 tf, 下限値 P_L はそれぞれ 0.5 tf, 0.6 tf, 0.7 tf とした。荷重振幅はいずれも 1.2 tf である。

図-6 の L2 試験体の荷重変位曲線である。上限値 P_u 1.7 tf, 下限値 P_L 0.5 tf で繰り返し荷重したものである。82 回の繰り返し荷重によって降伏した。鉛直壁取り付け部には、L1 と同じく 1.4 tf 荷重時に擁壁全幅にわたってひび割れが発生した。

図-7 の L3 試験体は、上限値 P_u 1.8 tf, 下限値 P_L 0.6 tf で繰り返し荷重したものである。22

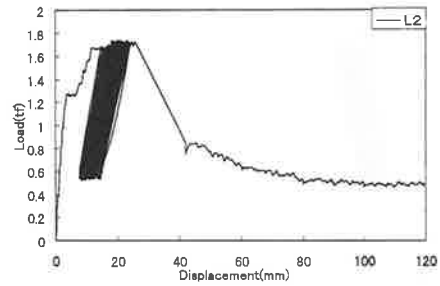


図-6 L2 の荷重変位曲線

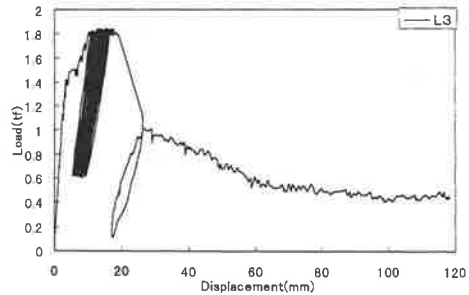


図-7 L3 の荷重変位曲線

回の繰り返し荷重によって降伏した。鉛直壁取り付け部には、1.5 tf 荷重時に擁壁全幅にわたってひび割れが発生した。

図-8 の L4 試験体は、上限値 P_u 1.9 tf, 下限値 P_L 0.7 tf で繰り返し荷重したものである。12 回の繰り返し荷重によって降伏した。鉛直壁取り付け部には、1.37 tf 荷重時に擁壁全幅にわたってひび割れが発生した。

図-9 は L2 から L4 まで 3 試験体の繰り返し試験体の荷重変位曲線を重ね描いたものであ

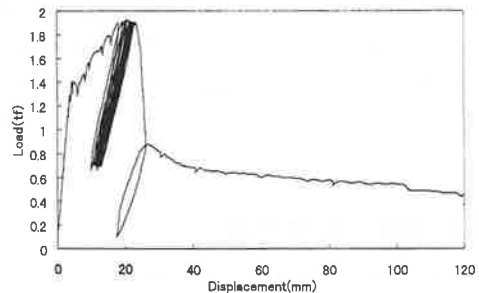


図-8 L4 の荷重変位曲線

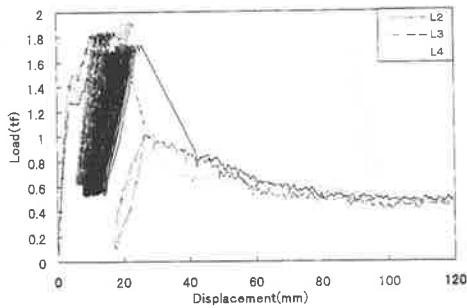


図-9 L2, L3, L4 の荷重変位曲線

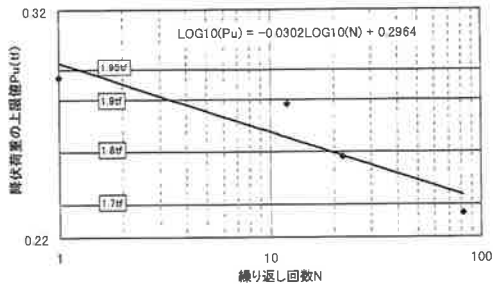


図-10 荷重の繰り返し回数と上限値の関係

る。小さい荷重で荷重と変位が線形な関係を保っているときの3つの曲線は、ほぼ一致したのとなっており、ほぼ同一の剛性を有していることが示されている。また、降伏後の挙動についても同様な結果を示している。

図-10は、破壊するまでの荷重の繰り返し回数を横軸に、荷重上限値を縦軸に描いたものである。この図によると、荷重上限値の増大に伴って繰り返し回数は低下することが示されている。繰り返し回数と荷重上限値には対数な関係があるとして近似式を求めると図中のように得られた。この関数によると、年間の凍結・融解繰り返し回数を30回とし、50年の耐用に至る荷重上限値は1.55tfとなる。したがって、本擁壁の水平荷重がこの値以下となるような対策が必要である。

3.2 荷重とひび割れ幅

図-11はL1試験体の荷重の増加に伴って鉛直壁取り付け部における点AとC(図-3)のひ

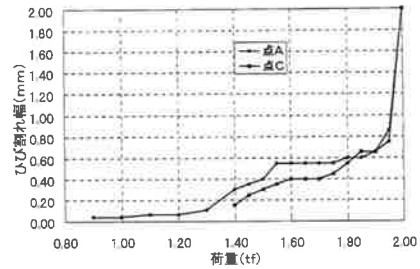


図-11 荷重とひび割れ幅 (L1)

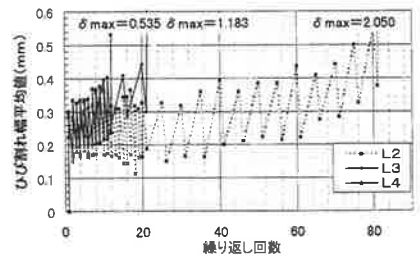


図-12 荷重繰り返し回数とひび割れ幅平均値

び割れ幅の変化を示した曲線である。0.9tfから点Aで、引き張り力によると思われるひび割れが見られ、約1.4tfから壁体の左端から右端までひび割れが見られた。荷重の増加に伴ってひび割れ幅の増加現象が見られ、降伏した1.95tfで急激にひび割れ幅の増大が見られた。

図-12は、L2, L3, L4各試験体の鉛直壁取り付け部6点(AからF)のひび割れ幅平均値を縦軸に、横軸は繰り返し回数によって示したものである。荷重上限値は増大すると、破壊時のひび割れ幅は小さい。また、いずれの曲線からも、繰り返し回数の増大に伴ってわずかながらひび割れ幅が増大している。

3.3 鉛直壁面及び鉛直側面のひずみ状況

図-13のA, B, C, Dは、それぞれL1, L2, L3, L4試験体の鉛直壁前面と背面の鉛直方向のひずみが、荷重の増加に伴ってどのように変化したかを示したものである。中心から左側が前面の圧縮ひずみ、右側が背面の引張りひずみを表している。そのひずみは同じ高さの3枚の平均値(図-3参照)である。荷重が小さい範囲では

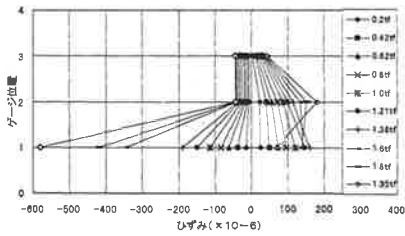


図-13A L1 の鉛直壁前面と背面のひずみ状況

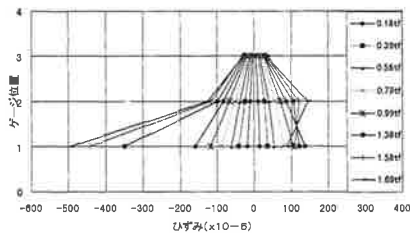


図-13B L2 の鉛直壁前面と背面のひずみ状況

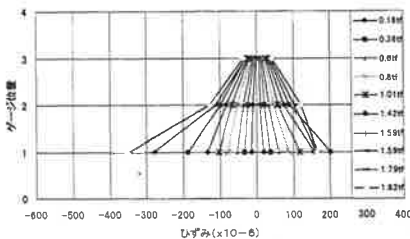


図-13C L3 の鉛直壁前面と背面のひずみ状況

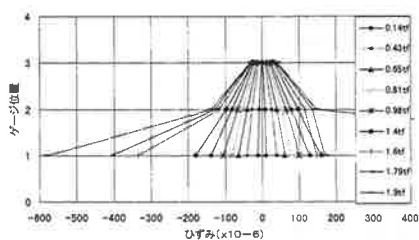


図-13D L4 の鉛直壁前面と背面のひずみ状況

上部から下部にかけて、ひずみの分布は曲げモーメント分布と同じく直線状にあるが、荷重が大きくなるに連れて線形性は崩れている。

図-14 は試験体 L1 の鉛直壁右側面のひずみ状況である。荷重の増加に伴って側面のひずみと中立軸は変化している。上段では、荷重の増

加に伴って中立軸は徐々に引張側に移動している。中段では、約 1.2 tf まで中立軸は断面中央付近にあるが、この荷重を超えると中立軸は圧縮側に移動していることがわかる。下段では、約 1.4 tf までを見ると中立軸は断面中央付近にあるが、この荷重を超えると中立軸は急激に圧縮側に移動していることがわかる。これは、この荷重によって引き張り側に発生したひび割れが大きく進展し、深く進行していることが理解できる。

3.4 破壊状況

この試験体の崩壊は、鉛直壁取り付け部での破壊によって発生した。図-15, 16, 17 は鉛直壁取り付け部の破壊について調べたもので、それぞれ試験体 L2, L3, L4 の繰返し回数に伴うひび割れの進展状況を示したものである。また、4 試験体の破壊状況を写真-4 に示す。

破壊の進展過程を考察すると次のようになる。

- ① 鉛直壁取り付け部背面において約 1.4 tf 時にひび割れが発生した。
- ② このひび割れは、擁壁背面に直角をなし、主鉄筋まで進展した。
- ③ 主鉄筋近傍から下向きに方向を変え、主鉄筋湾曲部まで主鉄筋に沿ってひび割れが進展した。
- ④ その後、主鉄筋の曲線に沿って、向きを変え最終的に水平に対し約 25 度の角をなして下部底面まで進展した。
- ⑤ それぞれの破壊面は、鉛直壁前面と底盤下面まで到達し崩壊に至った。

この破壊状況は 4 試験体とも繰返し回数にこそ違いはあるものの、大きな相違は見られなかった。この試験体の破壊状況と写真-1 に示した現地の実物擁壁の破壊状況がほぼ似通っていることから、写真-1 の擁壁も本実験と同じような荷重を受けていた可能性がある。

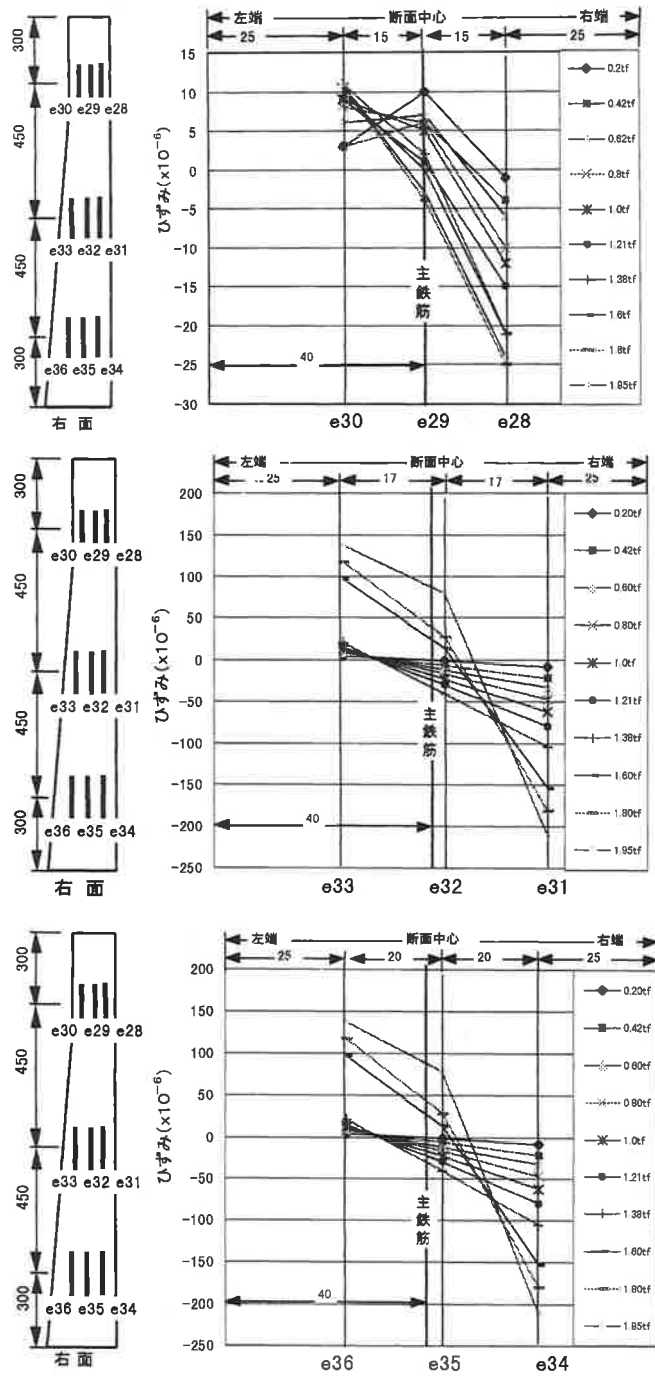


図-14 L1の鉛直壁右側面のひずみ状況

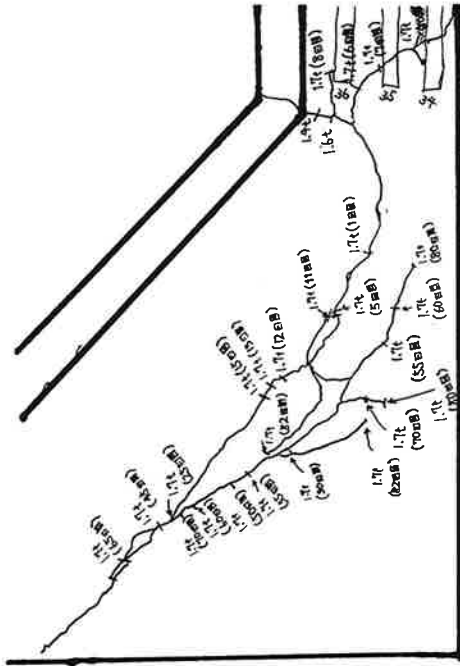


図-15 L2 のひび割れの進展状況

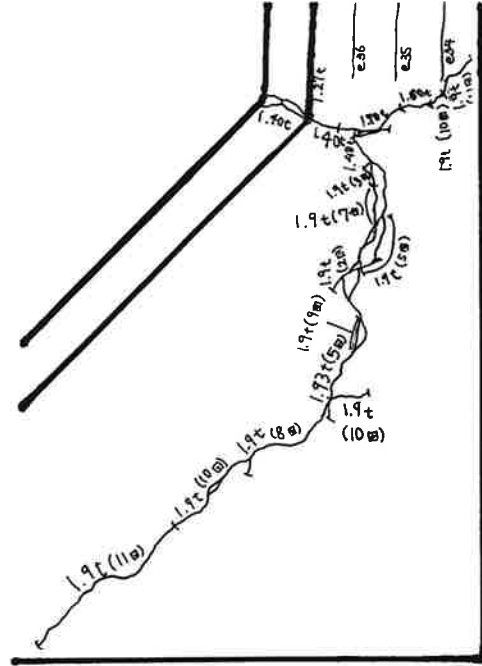


図-17 L4 のひび割れの進展状況

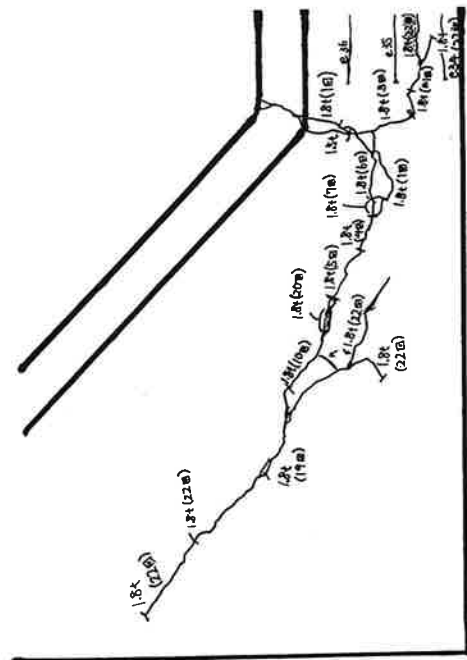


図-16 L3 のひび割れの進展状況

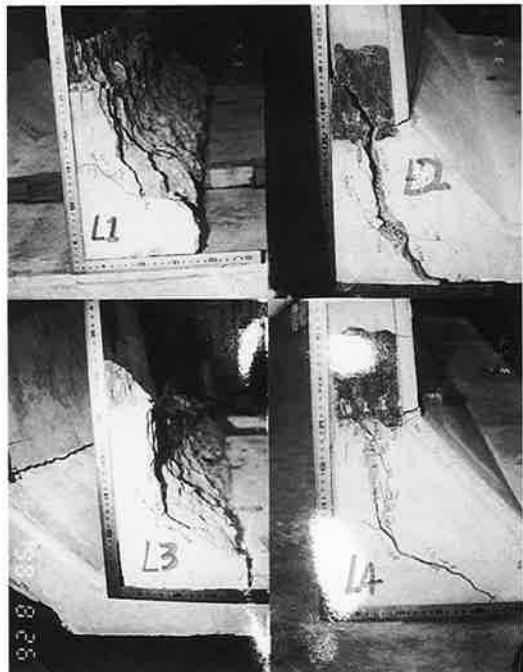


写真-4 全部試験体の破壊状況

4. 結 論

本実験は、寒冷地に建設される L 型擁壁が背面土の凍結融解作用を受けるとき、どのような疲労破壊を起こすかを実験的に調査したものである。この結果、次のような結論を得た。

- ① 鉛直壁上部に水平荷重が加わると、約 0.9 tf から局部的に、ひび割れが見られ、約 1.4 tf で鉛直壁取り付け部全域でひび割れが発生する。一方向載荷実験の降伏荷重は約 1.95 tf である。
- ② 荷重を繰り返して載荷すると、擁壁の破壊する荷重は低下する。
- ③ その荷重は、繰り返し回数が多くなると小さい値となる。
- ④ 寒冷地においては、背面土の凍結融解作

用を受けるとき設計荷重より小さい荷重で擁壁が破壊する可能性があるため、背面に適切な対策をとることが望まれる。

今後、実際に擁壁に加わる凍結融解作用による土圧を測定し、擁壁本体の設計時にどのような考慮が必要であるか、背面への対策としてどのような方法が適切であるかを検討する必要があると考えている。

参 考 文 献

- (1) 岩手県における農業用排水路の凍上対策工法標準設計マニュアル，岩手県農政部農地開発課，昭和 51 年 3 月
- (2) 鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物，鉄道総合技術研究所，平成 4 年 10 月
- (3) 渡辺博志，河野広隆：L 型 RC 隅角部の設計方法に関する検討，土木技術資料，Vol. 40-10, pp. 36-41, 1998.10,