共同研究報告書

整理番号第５４８号

大型ブロック積擁壁の設計・施工・維持管理の高度化に関する共同研究報告書

令和３年３月

国 立 研 究 開 発 法 人 土 木 研 究 所
公益社団法人全国土木コンクリートブロック協会

Copyright © (2021) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、国立研究開発法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、国立研究開発法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

共　同　研　究　報　告　書
第548号　2021年3月

大型ブロック積擁壁の設計・施工・維持管理の高度化に関する共同研究報告書

施工技術チーム　上席研究員　宮武裕昭
主任研究員　澤松俊寿
研究員　小出央人

公益社団法人全国土木コンクリートブロック協会
松岡　智
近藤和仁
伊藤祐喜
細野義則
武井　修
尾崎正樹

要　旨：

本共同研究は、道路土工構造物に用いるプレキャスト部材を用いた構造物の中でも特に多様な種類のある大型ブロック積擁壁を対象に、道路擁壁としての性能を確保したうえで現場条件に応じて、施工性及び維持管理性に優れた製品が活用されるよう、大型ブロック積擁壁の合理的な性能評価手法を確立することを目的に、変状事例の調査・分析、大型ブロック積擁壁の構造評価技術の検討及び大型ブロック積擁壁等の機能向上に関する検討を行ったものである。

キーワード：大型ブロック積擁壁、製品実態、変状事例、接合部、機能向上の付加技術

目　次

1. はじめに 1
1.1. 共同研究の背景 1
1.2. 道路土工－擁壁工指針におけるブロック積擁壁に関する記載内容 1
1.3. ブロック積擁壁の安定、部材耐力等に関する既往の研究 4
1.4. 共同研究の目的 4
1.5. 共同研究の体制及び期間 5
1.6. 本報告書の構成 6
2. ブロック積擁壁等の構造的特徴の調査 8
2.1. プレキャスト擁壁製品の開発動向の実態調査 8
2.1.1. 製品情報の収集方法 8
2.1.2. 調査の結果 8
2.2. タイプ 1-②の積みブロック製品に関する実態調査 17
2.2.1. 製品情報の収集及び構造的特徴の整理の方法 17
2.2.2. 製品実態調査の結果 19
2.3. 本章のまとめ 27
3. ブロック積擁壁の変状実態の調査・分析 29
3.1. 大型ブロック積擁壁等の変状形態の分析 29
3.1.1. 調査の方法 29
3.1.2. 調査の結果 30
3.2. 控長を 35cm のまま大型化したブロック積擁壁の変状傾向の統計分析 32
3.2.1. 変状事例 32
3.2.2. 統計分析の方法 40
3.2.3. 統計分析の結果 42
3.3. 本章のまとめ 44
4. 空積のブロック積擁壁の変状メカニズムの検証 45
4.1. 傾斜土槽模型実験及び FEM 解析 45
4.1.1. 傾斜土槽模型実験の方法 45
4.1.2. FEM 解析の方法 48
4.1.3. 傾斜土槽模型実験及び FEM 解析の結果 50
4.2. プッシュオーバー解析によるパラメトリックスタディ 53
4.2.1. 解析の方法 53

4.2.2. 解析の結果 55
4.3. 非線形動的 FEM 解析 58
4.3.1. FEM 解析の方法 58
4.3.2. FEM 解析の結果 62
4.4. 本章のまとめ 65
5. 練積のブロック積擁壁のブロックどうしの接合部の一体性評価手法の検討 67
5.1. 間知ブロックを用いた擁壁躯体の破壊特性に関する載荷試験 67
5.1.1. ブロックの積み方と擁壁躯体の変状形態 67
5.1.2. 載荷試験の方法 70
5.1.3. 載荷試験の結果 73
5.1.4. 考察 78
5.2. ブロックどうしの接合部に関する載荷試験 81
5.2.1. 載荷試験の方法 81
5.2.2. 載荷試験の結果 85
5.2.3. 考察 86
5.3. タイプ 1-②の施工品質を確保するための方法 88
5.3.1. タイプ 1-①及びタイプ 1-②の積みブロックの構造と施工手順 88
5.3.2. 考察 91
5.4. 本章のまとめ 94
6. ブロック積擁壁の安定に対する抵抗機構の評価 96
6.1. 現行におけるもたれ式擁壁の設計の考え方 96
6.2. 動的遠心模型実験の方法 98
6.2.1. 実験装置及び模型 98
6.2.2. 計測方法 101
6.2.3. 入力地震動 102
6.2.4. 実験ケース 102
6.3. 実験結果 103
6.3.1. 擁壁及び背面地盤の状態の推移 103
6.3.2. 擁壁背面に作用する地盤反力度 104
6.3.3. もたれ式擁壁の滑動及び転倒に対する安定に関する検討 108
6.4. 本章のまとめ 114
7. プレキャスト部材の機能向上に資する付加技術の検討 116
7.1. プレキャスト部材の機能向上に資する付加技術開発の方向性検討 116

7.2. 具体的な付加技術等の検討 119
7.2.1. 検討の方法 119
7.2.2. 検討の結果 119
7.3. 本章のまとめ 132
8. まとめ 133

参考文献 136

巻末資料
ブロック積擁壁の設計・施工に関する参考資料（案） 139

図目次

図 1.1　プレキャスト工法における擁壁及びカルバートの割合 [1)]
図 1.2　本報告書の構成
図 2.1　タイプ別の割合
図 2.2　各タイプの標準的な横断図
図 2.3　構造諸量の集計結果
図 2.4　ブロックの外形寸法及び胴込めコンクリート断面積の定義
図 2.5　主なブロックの形状（タイプ 1-②）
図 2.6　間知ブロックの一般的な形状（タイプ 1-①）
図 2.7　種類ごとの内訳（タイプ 1-②）
図 2.8　ブロックの形状の種類
図 2.9　ブロックと胴込めコンクリートの一体性確保を目的とした構造（例）
図 2.10　ブロックの高さ *h* のヒストグラム
図 2.11　ブロックの直高（５分勾配の場合）*h'* のヒストグラム
図 2.12　ブロックの長さ *L* のヒストグラム
図 2.13　ブロックの表面積 *L*h* のヒストグラム
図 2.14　胴込めコンクリート比のヒストグラム
図 2.15　胴込めコンクリート比とブロックの面寸法の関係
図 3.1　上下ブロックどうしの接合面のうち現場打ちコンクリートが占める割合と控長の関係
図 3.2　2004 年新潟県中越地震の推計震度分布と調査地点（文献 19)に調査地点を加筆）
図 3.3　2007 年新潟県中越沖地震の推計震度分布と調査地点（文献 21)に調査地点を加筆）
図 3.4　2011 年東北地方太平洋沖地震の推計震度分布と調査地点（文献 24)に調査地点を加筆）
図 3.5　2016 年熊本地震（前震）の推計震度分布 [27)]
図 3.6　2016 年熊本地震（本震）の推計震度分布と調査地点（文献 28)に調査地点を加筆）
図 3.7　2018 年北海道胆振東部地震の推計震度分布と調査地点（文献 30)に調査地点を加筆）
図 3.8　令和 3 年 2 月 13 日 23 時 08 分頃の福島県沖の地震の推計震度分布と調査地点（文献 32)に調査地点を加筆）

図 3.9　変状事例に対する擁壁の状態の区分（例）
図 3.10　変状実態のロジスティック回帰分析結果
図 4.1　傾斜土槽模型実験概要図及び FEM 解析モデル図
図 4.2　ブロック模型構造図
図 4.3　ブロック模型のセットアップ
図 4.4　傾斜の様子
図 4.5　実験における変形の状態
図 4.6　解析における変位と最大せん断ひずみのコンター図（d_x = 約 20 mm）
図 4.7　水平震度 k_h－変位 d 関係
図 4.8　相対水平変位 d_x、ずれ d_{xs} 及び回転 θ の高さ方向分布
図 4.9　控長、単位体積重量及びはらみ出し指数 I_b の関係
図 4.10　解析モデル
図 4.11　入力地震動
図 4.12　応答最大時の変位分布（1 倍表示）
図 4.13　背面地盤（図 4.10 の点A）の $\tau-\gamma$ 関係（図中の矢印は 500 cm/s^2 載荷時の正側及び負側のピーク）
図 4.14　1、2段目ブロック間の挙動
図 5.1　標準的なブロック積擁壁の構造 [2)]
図 5.2　ブロック積擁壁躯体の変状事例
図 5.3　供試体（上段：平面図、下段：側面図）（背面引張の例）
図 5.4　間知ブロック
図 5.5　実験のセットアップ
図 5.6　最大曲げモーメント
図 5.7　破壊面の状態（左：3D スキャナ、右：破壊モード）
図 5.8　破壊モードの割合
図 5.9　等曲げモーメント区間の供試体側面の高さ方向のひずみ分布（曲げモーメント 5kN･m 毎に表示）
図 5.10　供試体
図 5.11　大型積みブロック
図 5.12　供試体の製作方法
図 5.13　実験のセットアップ
図 5.14　ひび割れ曲げモーメント M_{cr}
図 5.15　ブロックの合端の状態

図 5.16　接合部の照査（接合方法に胴込めコンクリート及び鉄筋を用いた場合の例）
図 5.17　ブロック積工の標準的な手順
図 5.18　胴込めコンクリートの施工手順
図 5.19　胴込めコンクリートの形状
図 5.20　ブロックどうしの目地と打継ぎ面の関係
図 6.1　もたれ式擁壁における設計の考え方（日本道路協会 道路土工－擁壁工指針 [2)]）
図 6.2　擁壁模型概要図
図 6.3　擁壁底面のロードセル
図 6.4　背面地盤の締固め
図 6.5　実験のセットアップ
図 6.6　入力地震動
図 6.7　擁壁の水平変位の推移と載荷終了後の状態
図 6.8　各ケースの側圧係数分布
図 6.9　各ケースの側圧係数時刻歴
図 6.10　力のつりあいの模式図
図 6.11　変形面積の考え方の概念図
図 6.12　DI と F_s、F_o の関係
図 7.1　意匠の例
図 7.2　測定機器の底面が擁壁前面勾配と一致する意匠（イメージ）
図 7.3　部分的な滑面により面を確保する意匠（イメージ）
図 7.4　勾配を測定する機器の寸法の頻度
図 7.5　計測のためのターゲットを兼ねた意匠（イメージ）

表目次

表 1.1　ブロック積擁壁の分類と設計方法（日本道路協会 道路土工－擁壁工指針 [2]に加筆）
表 1.2　共同研究の項目と研究の分担
表 2.1　プレキャスト擁壁の分類の方法
表 3.1　分析対象とした変状事例の事象
表 3.2　PCa 擁壁の変状形態の例（擁壁面外方向の変状）
表 3.3　収集した変状事例数
表 3.4　擁壁の要求性能に対する限界状態と照査項目(例)(日本道路協会 道路土工－擁壁工指針 [2])
表 4.1　裏込め材及び基礎地盤の材料試験結果並びに FEM 解析のパラメータ（傾斜土槽模型実験）
表 4.2　解析条件（パラメトリックスタディ）
表 4.3　解析パラメータ
表 5.1　試験ケース、コンクリートの材料強度及び最大曲げモーメント
表 5.2　ブロック積擁壁躯体の破壊メカニズム
表 5.3　試験ケース、コンクリートの材料強度及び最大曲げモーメント
表 5.4　ブロック積擁壁の分類と設計方法（道路土工－擁壁工指針解表 5-6 に緑字部分を加筆）
表 6.1　滑動、転倒及び支持に対する安定の照査方法
表 6.2　使用材料の物理、強度定数
表 6.3　計測項目及び計測機器の一覧
表 6.4　実験ケース
表 6.5　性能曲線上の特徴点
表 7.1　道路土工構造物の新設又は改築に当たって考慮すべき事項（日本道路協会 道路土工構造物技術基準・同解説 [14])
表 7.2　機能向上の方向性（例）
表 7.3　施工に関する付加技術
表 7.4　特定道路土工構造物の健全性の診断の区分 [44]
表 7.5　擁壁の日常的な点検時の点検項目と着眼点（日本道路協会 道路土工－擁壁工指針 [2])
表 7.6　点検項目と測定機器（例）

1.　はじめに

1.1.　共同研究の背景

公共土木工事の生産性向上のために、プレキャスト（以下「PCa」という。）製品の適用が推進されている。

道路土工の分野においては様々な PCa 製品が開発されているが、その中でも特に擁壁製品は多様である（図 1.1）。一方で、PCa 部材活用を想定した技術基準類は十分整備されているとは言えず、PCa 部材活用時の品質管理、検査の手法の開発が求められる。加えて、PCa 部材は単純なコスト比較では現場打ちと比べて必ずしもメリットがでるものではなく、施工性及び維持管理性のメリットを考慮していく必要がある。さらに、道路土工構造物に用いられる PCa 構造物の変状は、他の道路土工構造物と同様に土圧、沈下等により発生するものが多く、コンクリート工学的観点のみならず地盤工学的観点において技術開発を行う必要がある。

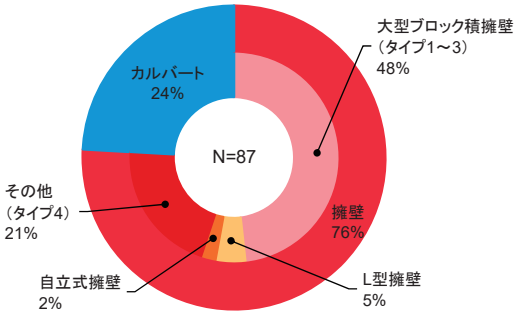


図 1.1　プレキャスト工法における擁壁及びカルバートの割合 [1)]

1.2.　道路土工－擁壁工指針におけるブロック積擁壁に関する記載内容

道路土工－擁壁工指針 [2)]（以下「擁壁工指針」という。）では、ブロック積擁壁*は、表 1.1 のように分類されている。

(1) タイプ 1

まず、通常のブロック積擁壁（以下「タイプ 1」と言う場合にはこれを指す。）と大型ブロック積擁壁に大別される。

さらに、タイプ 1 は通常のブロック積（石積）擁壁（以下「タイプ 1-①」と言う場合にはこれを指す。）及び積みブロックの控長を 35 cm のまま大型化したブロック積擁壁

* 特段の断りなく単に「ブロック積擁壁」という場合には、タイプ 1～3 のすべてを指した意味として使用する。

（以下「タイプ 1-②」と言う場合にはこれを指す。）に区分されている。タイプ 1 については、その構造特性はタイプ 1-①及び 1-②ともに「原則として胴込めコンクリートを設ける練積で、水平方向の目地が直線とならない谷積等で積み上げる形式」とされ、設計方法は経験に基づく設計法によることとされている。タイプ 1-②については、控長は 35 cm のまま施工の省力化等のために面寸法（擁壁の壁面を正面から見たときの積みブロックの縦、横又はその両方の寸法）を大きくしたものである。

大型ブロック積擁壁は、通常のブロック積（石積）擁壁に準じた構造の大型ブロック積擁壁（以下「タイプ 2」と言う場合にはこれを指す。）ともたれ式擁壁に準じた構造の大型ブロック積擁壁（以下「タイプ 3」と言う場合にはこれを指す。）に区分されている。

(2) タイプ 2

タイプ 2 は、「ブロック間の結合に、かみ合わせ構造や突起等を用いて、胴込めコンクリートで練積にした形式」とされており、練積構造のほか、いわゆる空積構造も位置付けられている。その設計方法についてはタイプ 1 と同様の考え方であり、背面勾配と控長の関係のノモグラムによりその形状を定める方法が示されている。

(3) タイプ 3

タイプ 3 は、「鉄筋コンクリートや中詰めコンクリート等を用いてブロック間の結合を強固にした形式」で、もたれ式擁壁として設計するものである。

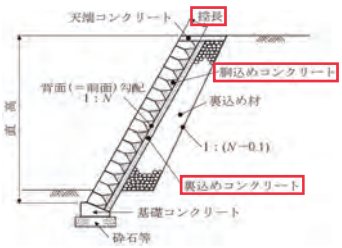
ゆえに、タイプ 1 とタイプ 2 の間を分かつ条件は端的にはその控長の値にあり、表 1.1 の左側に示すように前者は 35 cm 以上、後者は 50 cm 以上とされている。また、タイプ 2 とタイプ 3 の間を分かつ条件は表 1.1 の右側に示すようにその設計の方法にある。タイプ 1 及び 2 については、擁壁工指針では「通常のブロック積（石積）擁壁は、背面の地山が締まっている切土部や比較的良質な裏込め材料で十分な締固めがされる盛土部等、背面地盤からの土圧が小さい場合に適用できる。」とされている。すなわち、タイプ 1 及びタイプ 2 は、背面地盤の条件を″土圧が小さい場合″とすることを前提に、擁壁躯体の構造を表 1.1 の構造特性のようにしたうえで、背面勾配、直高及び控長を予め定められた仕様に従って設定することにより、部材の安全性及び安定を確保しているものと解することができる。これに対してタイプ 3 では、もたれ式擁壁の抵抗機構に基づいて工学的計算によって擁壁自体の安定性及び部材の安全性を照査することとされている。

タイプ 1 からタイプ 3 を分かつ条件は以上のようであるが、それぞれをそのタイプたらしめる条件が、表 1.1 でいうところでは″構造特性″ということである。構造特性は、いわばブロックどうしの一体性を確保するためのブロックどうしの接合部の構造的な要

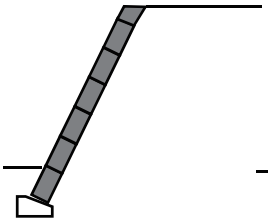
件である。擁壁工指針では各タイプの考え方が示されているが、必ずしも画一的な記載にはなっていない。これは、積みブロック製品は形状、寸法等が様々であり、一義的には決めがたいためであると考えられる。

表 1.1　ブロック積擁壁の分類と設計方法（日本道路協会 道路土工－擁壁工指針[2)]に加筆）

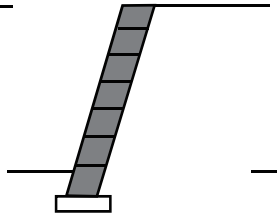
控長	項目 / 形式	ブロック間の結合構造や製品寸法によるブロック積擁壁の分類	構造特性	設計方法	設計方法の分類
35cm以上	通常のブロック積擁壁	① 通常のブロック積(石積) 擁壁	・原則として胴込めコンリートを設ける練積で，水平方向の目地が直線とない谷積等で積み上げる形式	・表5－3を用いた「経験に基づく設計法」による。 タイプ1	経験に基づいた仕様（勾配、直高、控長等）
		② 積みブロックの控長を35cmのまま大型化したブロック積擁壁			
50cm以上	大型ブロック積擁壁	通常のブロック積(石積)擁壁に準じた構造の大型ブロック積擁壁	・控長の大きい大型積みブロックで，ブロック間の結合に，かみ合わせ構造や突起等を用いたり，胴込めコンリートで練積にした形式	・解表5－7を用いる。 ・直高が5m以上は支持に対する安定の照査を行う。 タイプ2	
		もたれ式擁壁に準じた構造の大型ブロック積擁壁	・控長の大きい大型積みブロックで，鉄筋コンクリートや中詰めコンリート等を用いてブロック間の結合を強固にした形式	・解表5－8を用いて、もたれ式擁壁に準じて擁壁の安定性及び部材の安全性を照査する。 タイプ3	もたれ式擁壁の抵抗機構による工学的計算



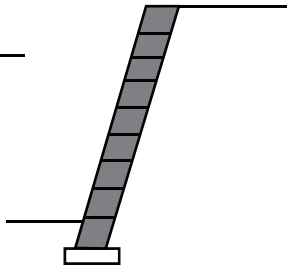
タイプ 1-①



タイプ 1-②



タイプ 2



タイプ 3

1.3. ブロック積擁壁の安定、部材耐力等に関する既往の研究

ブロック積擁壁等に関する既往の調査研究は、石積み[例えば 3)~7)]、間知ブロック[例えば 8)~10)]及び大型ブロック擁壁[例えば 11)]の擁壁躯体と背面地盤を含めた全体系の地震時挙動に関するものがほとんどで、その中でも空積（胴込めコンクリートを設けない構造）を対象としたものが多いようである。

とりわけ練積（胴込めコンクリートを設ける構造）のブロック積擁壁で、ブロックの積み方やブロック間の接合構造に着目した研究事例は、福岡ら[12)、13)]の研究しか見当たらないが、ブロックの積み方と擁壁躯体の耐力の関係を明らかにするには至っていないようである。

1.4. 共同研究の目的

本共同研究では、図 1.1 に示したように道路土工構造物に用いる PCa 構造物の中でも多様な種類のある通常のブロック積擁壁のうちタイプ 1-②及び大型ブロック積擁壁（タイプ２、３）を対象に、道路擁壁としての性能を確保したうえで現場条件に応じて、施工性及び維持管理性に優れた製品が活用されるよう、大型ブロック積擁壁の合理的な性能評価手法を確立することを目的に、変状事例の調査・分析、大型ブロック積擁壁の構造評価技術の検討及び大型ブロック積擁壁等の機能向上に関する検討を行ったものである。

具体的な内容は次のとおりである。

(1) 大型ブロック積擁壁の構造評価技術の検討では、1.2 節を踏まえたうえで、タイプ 1-②、タイプ 2 及びタイプ 3 のそれぞれについて、変状事例や載荷試験結果に基づいてブロックどうしの接合部が一体となって挙動できると考えられる接合部の構造、ブロックの条件、留意事項、それらの前提として施工品質を確保するための方法等について検討する。

(2) 大型ブロック積擁壁等の機能向上に関する検討では、実際の失敗事例を基に、これらを回避するための改善ポイントを整理する。また、変状実態、点検精度の実情等を考慮して維持管理性向上のポイントを整理する。これらをもとに施工性及び維持管理性向上の付加技術の方向性を検討する。

(3) 以上の成果の総括として、「ブロック積擁壁の設計・施工に関する参考資料（案）」としてとりまとめる。

1.5. 共同研究の体制及び期間

平成 30 年８月～令和３年３月の期間において、次に示す体制により表 1.2 の計画に基づき実施した。

・国立研究開発法人土木研究所 地質・地盤研究グループ 施工技術チーム

・公益社団法人全国土木コンクリートブロック協会（指定機関）

表 1.2 共同研究の項目と研究の分担

研究項目	研究細目	研究分担		年次計画		
		土研	指定機関	平成30年度	平成31(令和元)年度	令和2年度
(1) 大型ブロック積擁壁の構造評価技術の検討	大型ブロック積擁壁等の変状事例の調査・分析	○	◎	→	→	
	ブロック間の一体性等に関する評価技術検討	◎	◎	→	→	
(2) 大型ブロック積擁壁等の機能向上に関する検討	施工性・維持管理性に資する付加技術のニーズ・シーズ調査・分析	◎	◎		→	→
	合理的な性能評価手法検討	◎	○		→	→

1.6. 本報告書の構成

本報告書の構成は、図 1.2 に示したとおりであり、各章の概要は以下のとおりである。

１章は、本報告書の導入であり、擁壁工指針 [2)]におけるブロック積擁壁に関する記載内容、本共同研究の目的及び体制並びに本報告書の構成について述べる。

２章では、本研究の基礎資料として、大型ブロック積擁壁をはじめプレキャスト擁壁の製品の開発動向を把握するために、道路の擁壁に使用されるプレキャスト製品の実態を調査し、これを整理した結果について述べる。さらに、タイプ 1-②については、国内の製品に関する情報を可能な限り網羅的に収集し、ブロックの形状、寸法等の特徴について定量的に整理する。

３章では、４章から６章における検討の基礎資料とすることを目的に、ブロック積擁壁の変状事例を収集・整理し、これを参考にして設計において考慮すべきブロック積擁壁の状態を整理する。また、タイプ 1-①及びタイプ 1-②については、近年の地震における変状事例を統計的に整理し、ブロックの積み方と被害の発生確率の関係を分析する。

４章では、空積の大型ブロック積擁壁の変状メカニズムを調べ、適用上の留意事項を整理する。具体的には、ブロック間の一体性に関する変状形態に着目し、傾斜土槽模型実験により変状のメカニズムを調べるとともに、FEM 解析を実施し解析モデルの妥当性を検証する。さらに、ブロックの単位体積重量及び控長を変数とした FEM 解析によるパラメトリックスタディから、擁壁躯体の変位モード及び変位量を評価する。加えて、非線形動的 FEM 解析により地震時のブロックの応答について詳細に調べる。以上を踏まえて、空積の大型ブロック積擁壁を適用する場合の留意事項を整理する。

５章では、練積の大型ブロック積擁壁のブロックどうしの接合部に着目して、その一体性の評価手法を検討する。実物大のブロック積擁壁供試体の４点曲げ試験に基づき、まず、間知ブロックについてその積み方（谷積及び布積）及び曲げモーメントの方向に応じたブロックどうしの接合部の破壊の特性について論じる。次いで、大型ブロック積擁壁について、躯体を梁部材として考えた場合に、ブロックの製造の実情や擁壁の施工手順を考慮したうえで、大型積みブロックの接合部において部材断面として見込めると考えられる範囲を提案する。控長を 35 cm のまま大型化したブロック積擁壁については、胴込めコンクリートの確実な品質の確保を容易とするために積みブロックの構造及び胴込めコンクリートの打設方法の考え方を提案する。

６章では、練積の大型ブロック積擁壁に着目し、擁壁が背面地盤にもたれかかって安定を確保するという抵抗機構について、これが成立する条件を詳しく調べる。動的遠心模型実験において、実大換算で直高 7 m の擁壁模型に対して、意図的に転倒と滑動がそれぞれ卓越して生じるように実験条件を設定した２ケースについて、地震動を与え背面

地盤から作用する反力の特性を調べた。さらに、計測した各種の応答値から擁壁模型に関する力の釣合いを整理し、滑動と転倒に対する安定の状態と背面地盤から作用する地盤反力との関係を分析した。

７章では、大型ブロック積擁壁の施工性、維持管理性等の向上に資する付加技術の方向性、及びこれに基づいて施工、維持管理等で実践すべきと考えられる具体的な付加技術や留意事項を検討する。

８章では、以上の成果を要約して総括としてとりまとめる。

さらに、本報告書の実務における使いやすさを踏まえて、巻末資料に「ブロック積擁壁の設計・施工に関する参考資料（案）」としてとりまとめる。

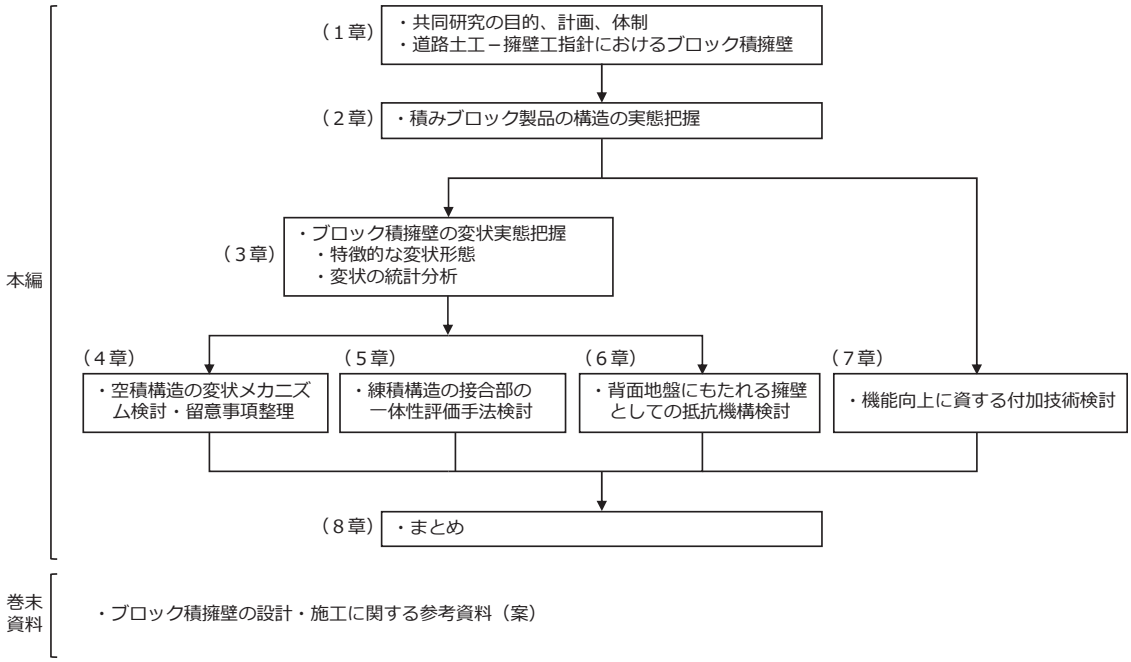


図 1.2　本報告書の構成

2. ブロック積擁壁等の構造的特徴の調査

本章では、本研究の基礎資料として、大型ブロック積擁壁をはじめプレキャスト擁壁製品の開発動向を把握するために、道路の擁壁に使用されるプレキャスト製品の実態を概略的に調査し、構造的な特徴を整理した。さらに、タイプ 1-②については、国内の製品に関する情報を可能な限り網羅的に収集し、ブロックの形状、寸法等の特徴について定量的に整理した。なお、本調査は個別の工法の評価を目的としたものではない。

2.1. プレキャスト擁壁製品の開発動向の実態調査

2.1.1. 製品情報の収集方法

ここでは、プレキャスト擁壁製品の新技術の開発動向を把握することを目的とし、したがって新技術情報提供システム（以下「NETIS」という。）の情報を活用して、道路に用いるプレキャスト擁壁として登録されている工法を抽出することを基本とした。抽出した工法に対して工法の技術資料等を基に工法概要、構造、使用材料、施工方法等を調べた。

2.1.2. 調査の結果

(1) プレキャスト擁壁の構造的分類

NETIS においてプレキャスト擁壁として登録されていたものは 66 件あった。このうち、本調査では大型ブロック積擁壁等（タイプ 1-②、2、3）及び大型ブロック積擁壁等に類似した構造であったその他の 60 件に着目し、構造的特徴を整理し分類した。これらの構造形式以外の形式である L 型擁壁及び矢板状の自立式擁壁の 6 件は分析には含めていない。分類は表 2.1 に示すとおり、大型ブロック積擁壁については、擁壁工指針 [2)]におけるブロック積擁壁の分類に基づき、練積、控長及びブロック間の結合構造に応じてタイプ 1-②～タイプ 3 に分類した。その他については、その構造的特徴からタイプ 4-①～4-④の 4 種類に分類した。分類した結果のうち、タイプごとの内訳を図 2.1 に、各タイプの代表的な横断図を図 2.2 に示す。

1) タイプ 1-②～タイプ 3（大型ブロック積擁壁）

ブロックの材料はコンクリートがほとんどであるが、自然石を用いるものがあった。

空積であるタイプ 2-②では、ブロックどうしの接合部のずれ止めにコンクリートの突起を用いるものがほとんどであった。突起の形状・寸法は工法によって異なり、位置も壁面の前面側、中央又は後方側と様々であった。また、ボルトによりブロック同士を接合するものがあった。なお、タイプ 2-②以外の多くにも突起が設けられていた。施工上のブロックの位置決めのためと考えられる。また、タイプ 2-②では、裏込め材（砕石）

を省略し、代わりに排水マットを用いるものがあった。

タイプ 3 では、前面と背面のコンクリート板等を鋼製の棒材で連結したものがあった。

表 2.1　プレキャスト擁壁の分類の方法

	タイプ	概要	分類の条件				
			練積	控長 35 cm 以上	ブロック間の結合構造		
					ずれ止め		中詰め Co 又は RC による一体化
					突起等	胴込め Co	
通常のブロック積擁壁	1-②	通常のブロック積みを控長 35 cm のまま大型化した擁壁	○	－	○	○	○
大型ブロック積擁壁	2-①	控長を大きくした練積構造の大型ブロック積擁壁	○	○	○	○	－
	2-②	控長を大きくした空積構造の大型ブロック積擁壁	－	○	○	－	－
	3	ブロック間の結合を強固にしたもたれ式擁壁に準じた構造	○	○	－	－	○
その他	4-①	特殊形状のコンクリート部材を用いた構造					
	4-②	タイ材と控え部材を用いた構造					
	4-③	直壁					
	4-④	ジオシンセティクスセルを積層した構造					

※1：道路土工－擁壁工指針の大型ブロック積擁壁に該当するもの又はこれに近い構造

2)　タイプ 4-①（その他）

直方体でないコンクリート部材を空積で複雑に組み合わせた状態で積み上げて擁壁状に構築する工法があった。いくつかの製品では、コンクリート部材の間に中詰め材として砕石や現地発生土が用いられている。

3)　タイプ 4-②（その他）

コンクリートブロック等の背面側に鋼製のタイ材と控え部材を設置し，コンクリートブロックと控え部材の間に砕石や現地発生土を充填し、この領域を擁壁状に構築するものである。

4)　タイプ 4-③（その他）

コンクリートブロックを用いて直壁を構築するものである。図 2.2(c)のうち、i)のように板状のコンクリートブロックを前面側の型枠に利用し、現場打ちコンクリートと一体化させて逆台形型の重力式擁壁又はもたれ式擁壁状に構築するもの、ii)のように鉄筋コンクリートにより中詰めして逆 T 型擁壁状に構築するもの、iii）のようにコンクリートブロックを積み上げて重力式擁壁状に構築するものなどがある。

5)　タイプ 4-④（その他）

図 2.2(d)のように円筒や角筒状のジオシンセティクスを平面的に連続して設置し、その内部に中詰め材として現地発生土や砕石を入れたものを積み上げたものである。

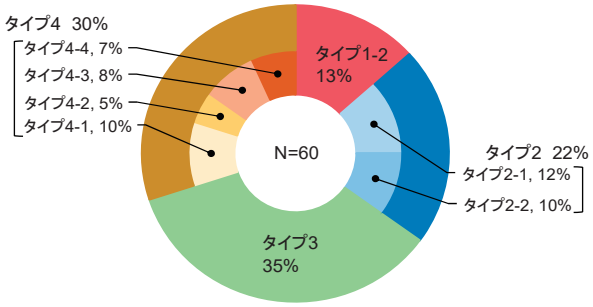
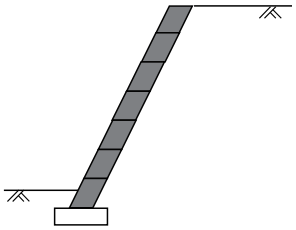
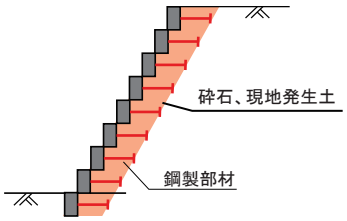


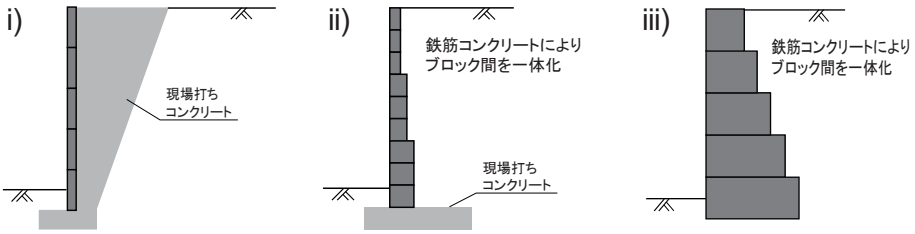
図 2.1 タイプ別の割合



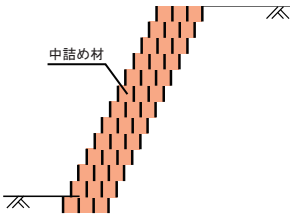
(a)タイプ 1～3



(b)タイプ 4-②



(c)タイプ 4-③



(d)タイプ 4-④

図 2.2 各タイプの標準的な横断図

(2) プレキャスト擁壁の構造的特徴の統計分析

図 2.3 には、タイプ 1-②～4 のプレキャスト擁壁の構造的特徴について、その諸量を統計的に整理した結果を示す。なお、構造的特徴の整理にあたっては、適用高さ等の定量的な諸量を各工法の技術資料等から読み取り、具体的な記載がなかったものについては不明とした。

1) 最大適用高さ H

図 2.3(a)には、最大適用高さの頻度を示す。ここで、最大適用高さは技術資料等に記載された適用範囲の上限値とした。最大適用高さ H は 5 m < H ≤ 8 m が最も多く、8 m < H は全体の約 37%（22 件）であり 15 m を上回るものもあった。

2) 最急適用壁前面勾配

図 2.3 (b)には、最急適用壁前面勾配の頻度を示す。ここで、最急適用壁前面勾配は技術資料等に記載された適用範囲の上限値とした。最急適用壁前面勾配については、1:0.3 及び 1:0.5～が約 4 割ずつ（24 件、22 件）であった。タイプ 4 では 1:0.1 及び 1:0.2 のものもあった。

3) 最大適用控長 d

図 2.3 (c)には、最大適用控長の頻度を示す。ここで、最大適用控長は技術資料等に記載された適用範囲の上限値とした。控長は 500 mm < d ≤ 1000 mm 及び 1500 mm < d が約 3 割ずつであり、特に 1500 mm < d のほとんどがタイプ 3 であった。また、タイプ 2-②の約 83%（５件）が 500 mm < d ≤ 1000 mm であった。

図 2.3 (d)は、最大適用高さと最大適用控長の関係を示したものである。最大適用高が高くなるほど最大適用控長も大きくなる傾向が認められる。

4) ブロック前面の壁面積 A

図 2.3 (e)はに、ブロック前面の壁面積の頻度を示す。0.5 m^2 ≤ A（一般的な間知ブロックの面積 0.13 m^2 程度の約 4 倍）のものが 77%（46 件）を占めた。1 m^2 ≤ A < 2 m^2（同約８～15 倍）が最も多く、最大で 3 m^2 程度（同約 23 倍）のものもあった。

5) プレキャストブロック 1 つあたりの質量 m

図 2.3 (f)には、プレキャストブロック 1 つあたりの質量の頻度を示す。100 kg ≤ m（一般的な間知ブロックの質量 40 kg 程度の約 4 倍）のものが約 9 割（55 件）を占めた。500 kg ≤ m < 1,000 kg（同約 13～25 倍）が最も多く、最大で 4,000 kg（約 100 倍）のものもあった。

6) ブロック配置

図 2.3 (g)には、ブロック配置の頻度を示す。配置の分類は図中の凡例のとおり、通常のブロック積擁壁の積み方である谷積並びに横断の配置に関しては布積及び水平積、正

面の配置に関しては芋積及び千鳥積である。ブロックの配置については、水平積が最も多く 65%（55 件）、布積が 17%、谷積は 2%である。水平積が多いのは、施工時のブロックの安定を確保するためであると考えられる。布積及び水平積においては、芋積及び千鳥積が約半数ずつとなっている。タイプ 2-①の全て（７件）及びタイプ 2-②の 67%（４件）が、水平積で芋積である。また、タイプ 3 のうち 53%（11 件）が、水平積で千鳥積、24%（５件）が、水平積で芋積であった。

7)　ブロック側面の接合面積

図 2.3 (h)は、ブロック側面の接合面積 $A_{c1}+A_{c2}$ と接合面積のうち、現場打ちの面積が占める割合 A_{c2}／（$A_{c1}+A_{c2}$）の関係を示す。面積の定義は、図中の凡例のとおりである。ブロック側面の接合面積 $A_{c1}+A_{c2}$ は概ね 2.5 m^2 までの範囲にあり、最大で 4 m^2 程度のものもあった。空積であるタイプ 2-②においては、1.5 m^2 までの範囲にあった。現場打ちの面積が占める割合 A_{c2}／（$A_{c1}+A_{c2}$）は、概ね 0.6～1 の範囲にあり、タイプ 2-①では、0.1～0.2 程度のものも認められた。大略的に、$A_{c1}+A_{c2}$ が大きいほど現場打ちの面積が占める割合 A_{c2}／（$A_{c1}+A_{c2}$）も大きくなっており、正の相関が認められる。これは、接合面積が大きくなってもプレキャスト部材の接合面積はそれほど変わらないことを示している。タイプ 1-②では、図中の左上にプロットが集中しており、側面の接合面積に着目すると製品ごとにあまり差がないと解釈できる。一方で、タイプ 2-①はプロットの範囲が比較的に広範であり製品ごとに特徴が異なる。

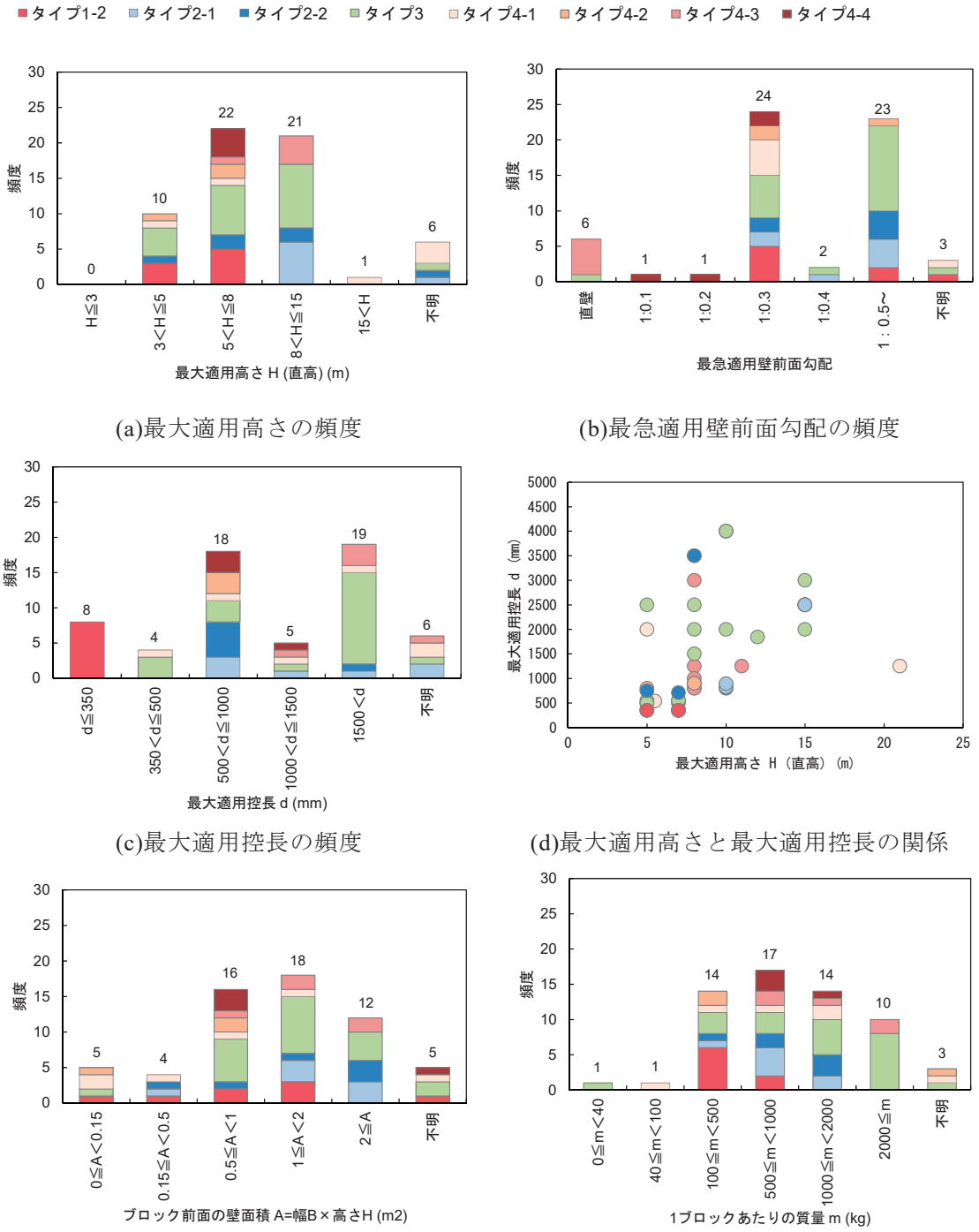
側面部においては、突起もしくはかみ合わせ構造が付いている製品は、全体の 1 割弱程度であった。

8)　ブロック上下面の接合面積

図 2.3 (i)は、ブロック上下面の接合面積 $A_{c4}+A_{c5}$ と接合面積のうち現場打ちの面積が占める割合 A_{c5}／（$A_{c4}+A_{c5}$）の関係を示す。面積の定義は、図中の凡例のとおりである。

ブロック上下面の接合面積 $A_{c4}+A_{c5}$ は、概ね 5 m^2 までの範囲にあった。空積であるタイプ 2-②においては、0～1.5 m^2 程度の範囲にあった。タイプ 2-②を除くと現場打ちの面積が占める割合 A_{c5}／（$A_{c4}+A_{c5}$）は、0.2～0.9 の範囲にあった。タイプ 1-②では、$A_{c4}+A_{c5}$ の範囲は 0.5 m^2 程度までなのに対し、A_{c5}／（$A_{c4}+A_{c5}$）は、0.3～0.9 と広い範囲に分布しており製品ごとに大きく異なる。一方で、タイプ 2-①及びタイプ 3 は、$A_{c4}+A_{c5}$ の範囲は広いものの、多くは 0.5～0.8 の範囲にある。タイプ 1-②と比較すると製品ごとの差は、小さいようである。

上下面の接合として鉄筋が配筋されているものは、全体の 2 割程度であり、上下面部において、突起もしくはかみ合わせ構造が付いているものは、全体の 6 割弱であった。



(a)最大適用高さの頻度

(b)最急適用壁前面勾配の頻度

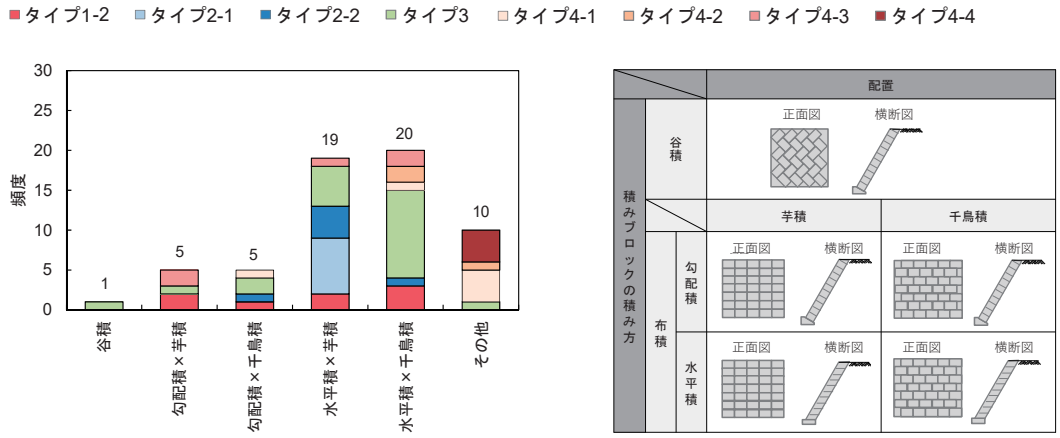
(c)最大適用控長の頻度

(d)最大適用高さと最大適用控長の関係

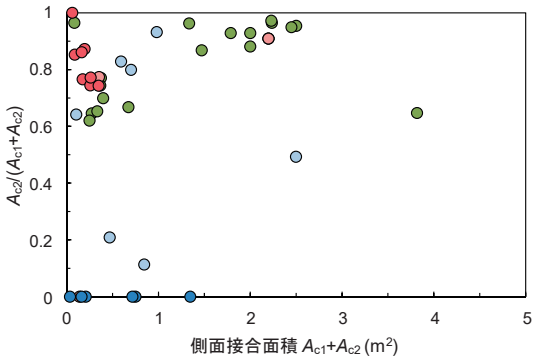
(e)ブロック前面の壁面積の頻度

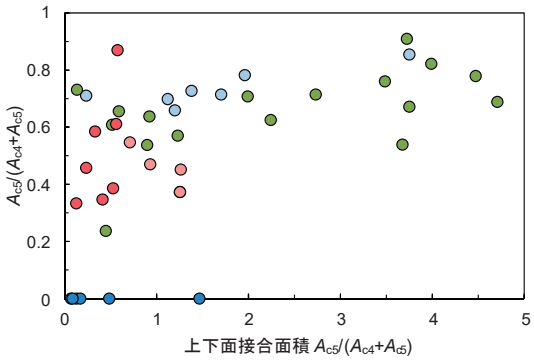
(f)プレキャストブロック１つあたりの質量の頻度

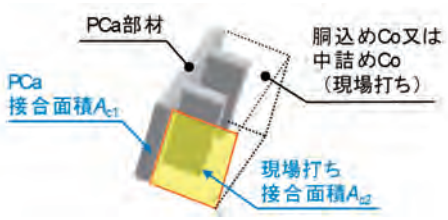
図 2.3　構造諸量の集計結果



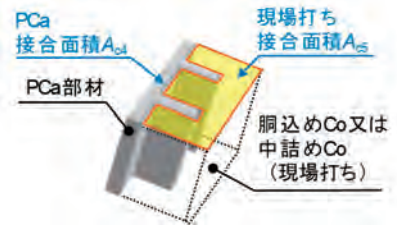
(g)ブロック配置の頻度







(h)左右に隣接するブロックどうしの接合部において胴込めコンクリートの占める割合



(i)上下に隣接するブロックどうしの接合部において胴込めコンクリートの占める割合

図 2.3　構造諸量の集計結果（続き）

(3) 考察

本調査の方法によって調べた限りでは、NETIS においてはプレキャスト擁壁として登録されているものには、図 2.2 に示したようなものがあった。また、図 2.3 に示したように適用できるとしている高さや勾配の範囲も極めて多様であった。以下に、調査によって得られた範囲の情報から、次章以降の検討で着目すべきポイントやプレキャスト擁壁を適用するうえでの留意点を整理する。

- 擁壁工指針[2)]において示されている、又はコンクリート擁壁の設計において想定されている構造若しくはそれに近い構造としては、タイプ 1-②～3、タイプ 4-③があげられる。控長 35 cm の通常のブロック積擁壁の代替として用いるものから、数メートルの控長のブロックを用いてブロック間の結合を強固にしてもたれ式擁壁とするもの等があり、そのほかコンクリートブロックを用いた重力式擁壁、片持ち梁式擁壁等も開発されていた。図 2.3(g)によれば、いずれのタイプも積みブロックの積み方は布積であった。このような擁壁の躯体を無筋コンクリート又は鉄筋コンクリート部材と考えた場合の部材の安全性は、ブロックどうしの接合部に大きく影響され、接合部の一体性を評価するための技術開発が必要である。練積の構造については 5.1 節及び 5.2 節において検討し、空積の構造については 4 章において検討する。
- 図 2.3(i)によると、タイプ 1-②については、上下に隣接するブロックどうしの接合部において胴込めコンクリートが占める割合が 0.3～0.9 であり、ほかのタイプのそれに比べて広い。擁壁工指針[2)]においては、タイプ 1-②はタイプ 1-①と並列に位置づけられている（表 1.1 を参照）ことから、タイプ 1-②の実態をさらに詳しく調べ、タイプ 1-①と比較する必要がある。これについては、2.2 節、3.2 節及び 5.3 節において検討する。
- 主たる材料に、コンクリートだけでなく樹脂等が使用されているものもあった。例えばブロック積擁壁の代替として適用する場合には、コンクリートと同等の耐久性が確保されているかという観点で、材料の耐久性を確認しておく必要があると考えられる。
- タイプ 2-②の中には、裏込め材（砕石）を省略し代わりに排水マットを用いるものがあった。一方で、擁壁工指針[2)]では「ブロック積擁壁等はその構造の安定上、裏込め材に割栗石や砕石を用いることを前提としているため、その代替として透水マットを用いてはならない。」とされており、ブロック積擁壁等の構造の安定において裏込め材に期待される機能が、別のなんらかの手段等によって満足されているかを確認する必要があると考えられる。

・ タイプ 4-①、4-②及び 4-④のような構造に関しては、擁壁工指針[2)]でいうところのコンクリート擁壁には該当しないものと考えられ、本研究においても対象としない。このような擁壁については、道路土工構造物技術基準[14)]の設計における基本的事項に従い、その設計は理論的で、妥当性を有する方法や実験等による検証がなされた方法、これまでの経験・実績から妥当とみなせる方法等、適切な知見に基づいて行う必要がある。なお、タイプ 4-③についてはブロック積擁壁ではないものの、そのブロックどうしの接合部の評価については、５章における検討結果は活用できるものと考えられる。

2.2. タイプ 1-②の積みブロック製品に関する実態調査

前節において概略的な調査として NETIS に基づいて調べた結果、タイプ 1-②については、ほかのタイプに比べて使用されている胴込めコンクリートの量が様々であった。そのため、本節では改めてタイプ 1-②に着目し、その製品事態を詳しく調べた。ここで、擁壁工指針 [2)]では、タイプ 1-②は面寸法が大型化されているものの、従来から広く適用されているタイプ 1-①と控長及び設計法が同じであることから（表 1.1 を参照）、タイプ 1-①の製品実態についても調べて両者を比較した。

2.2.1. 製品情報の収集及び構造的特徴の整理の方法

ウェブサイトをとおした調査によってタイプ 1-②製品の情報を収集した。収集に当たっては、ウェブサイトで″大型積みブロック″や″大型ブロック積擁壁″等をキーワードとして検索したほか、主要なコンクリートブロック製造会社のホームページを閲覧してできる限り調べた。その結果、39 の製品を抽出し、以後の整理に供した。なお、この調査によって概ねの国内製品の情報が捕捉できていると考えられる。また、比較のためにタイプ 1-①（間知ブロック）の 12 製品についても製品の寸法等を調査した。

収集したブロック製品の情報から、次のようにブロックの形状、外形寸法、胴込めコンクリートの量等を整理した。

(1) ブロックの形状

ブロックの積み方並びにブロックどうしの一体性及びブロックと胴込めコンクリートの間の一体性の観点から、ブロック製品の構造を類型化した。

(2) ブロックの外形寸法

ブロックの外形寸法として、その高さ h、長さ L 及び控長 b を図 2.4 のように定義し、これを製品の図面等から読み取った。なお、高さ h 及び長さ L はいずれもブロックの面板に沿った寸法としたが、ブロック積擁壁の前面勾配を考慮した場合の鉛直方向の高さとしてブロックの直高 h'を定義し、これを算出した。また、ブロックの高さ h と長さ L を乗じてブロックの面寸法 $h*L$ を算出した。

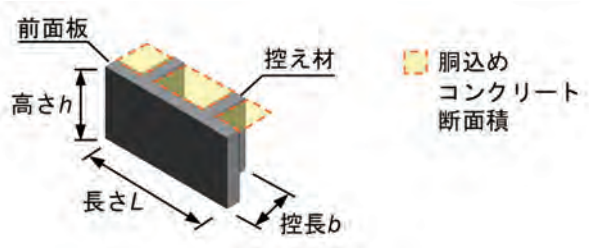


図 2.4 ブロックの外形寸法及び胴込めコンクリート断面積の定義

(3) 胴込めコンクリート比

躯体に占める現場打ちコンクリート、すなわち胴込めコンクリートの割合を示す指標として次式のとおり胴込めコンクリート比を定義し、ブロックどうしの接合面についてこれを算出した。

$$\text{胴込めコンクリート比} = \frac{\text{胴込めコンクリート断面積}}{\text{躯体断面積}\ L*b} \tag{2-1}$$

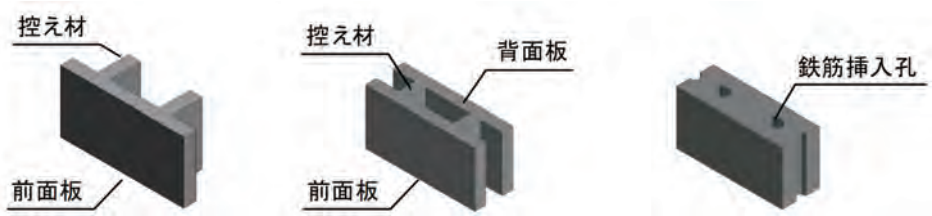
ここに、躯体断面積は図 2.4 に示すようにブロックの長さ L と控長 b を乗じて算出した値、胴込めコンクリート断面積は図 2.4 のようにブロックどうしの接合面において胴込めコンクリートの占める断面積を図面より図化ソフトを用いて読み取って算出した値である。

2.2.2. 製品実態調査の結果

(1) ブロックの形状

まず、タイプ 1-②のブロックの形状については、図 2.5 に示すように 3 種類に大別された。すなわち、無筋コンクリート構造の(a)及び(b)と鉄筋コンクリート構造である(c)である。さらに、無筋コンクリート構造の場合には、背面板の有無によって(a)π型と(b)背面板型に分類することができる。なお、タイプ 1-①に用いられるいわゆる間知ブロックは、一般には図 2.6 に示すようにくさび型の足の先端に返しを備えた構造となっている。

※細部構造（突起等）は表示していない。



(a) π型　　(b) 背面板型　　(c) 通し鉄筋型

図 2.5　主なブロックの形状（タイプ 1-②）

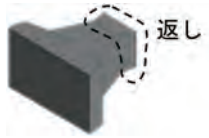


図 2.6　間知ブロックの一般的な形状（タイプ 1-①）

図 2.7 には、調査した 39 製品の類型化した種類毎の内訳を示す。π型が 51%、背面板型が 41%及び通し鉄筋型が 8%であり、π型と背面板型が大部分を占めていた。

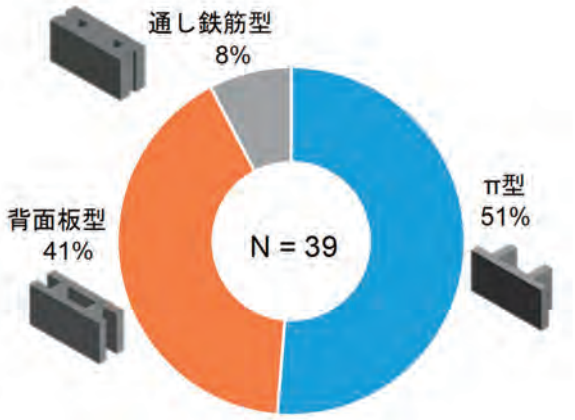


図 2.7　種類ごとの内訳（タイプ 1-②）

さらに、積み方を変数として加えると、図 2.8 のように 5 つに分類される。鉄筋挿入型については、ブロックの形状が複雑となるためか水平積の製品は見当たらなかった。

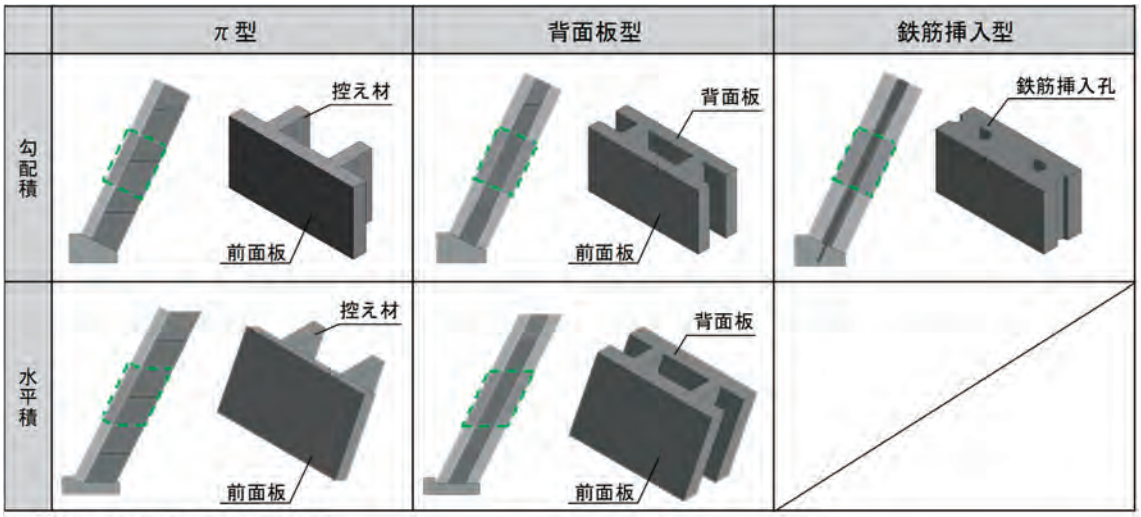
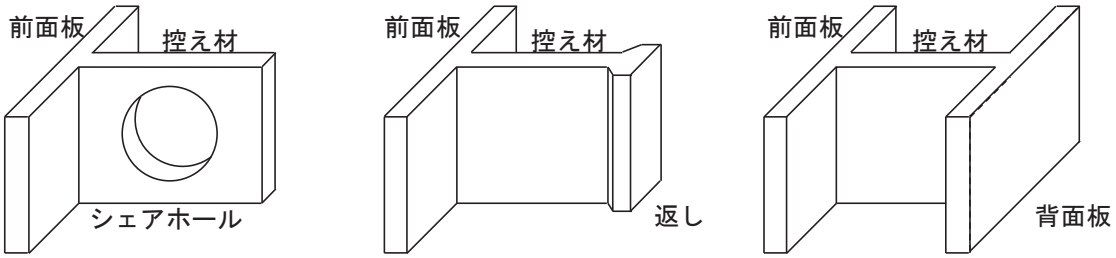


図 2.8　ブロックの形状の種類

練積の場合には、ブロック及び現場打設するコンクリートである胴込めコンクリートと裏込めコンクリート(表 1.1 参照)が一体となる構造とする必要があると考えられる。まず、ブロックと胴込めコンクリートの一体性を確保する構造と考えられる構造には、図 2.9 のようなものがあった。返しは、図 2.6 に示すタイプ 1-①（間知ブロック）と同様の構造である。シェアホールは、返しの役割を控え材に直接担わせたものであると考えられる。背面板は、返しの寸法を大きくしたものと解することができる。

次に裏込めコンクリートとの一体性については、シェアホール、返し等の構造の場合には、胴込めコンクリートと裏込めコンクリートを連続して打設すれば、施工上は区別して施工されないため、一般にはその一体性を確保することができる。一方で、背面板を有する構造の場合には、背面板の背面に単に裏込めコンクリートを打設しても背面板が一様に平滑なために、その一体性は確保されがたいと考えられる。したがって、裏込めコンクリートを打設する構造の場合においては、積みブロックと裏込めコンクリートが一体となって荷重に抵抗するという点で、裏込めコンクリートと接する面が一様に平滑な構造の積みブロックの使用を避けることが肝要と考えられる。なお、裏込めコンクリートを打設しない構造とする場合には、裏込めコンクリートの分を含んだ控長の製品を使用すれば、この問題には当たらないと考えられる。



(a) シェアホール　(b) 返し　(c) 背面板

図 2.9　ブロックと胴込めコンクリートの一体性確保を目的とした構造（例）

(2) ブロックの外形寸法

図 2.10 及び図 2.11 には、調査したタイプ 1-①、②の製品のブロック 1 個の高さの頻度を示す。ここでは、前項で示した定義のブロックの高さ h と 5 分勾配で使用した場合のブロック 1 個の直高 h' の頻度を示す。タイプ 1-①よりもタイプ 1-②の方がブロックの高さが高い傾向にあることは自明であるが、h' に着目してみるとタイプ 1-①は概ね 0.2～0.3 m の範囲、タイプ 1-②はそのほとんどが 0.4 m 以上であった。タイプ 1-②においては類型化した型毎の目立った偏りは認められない。

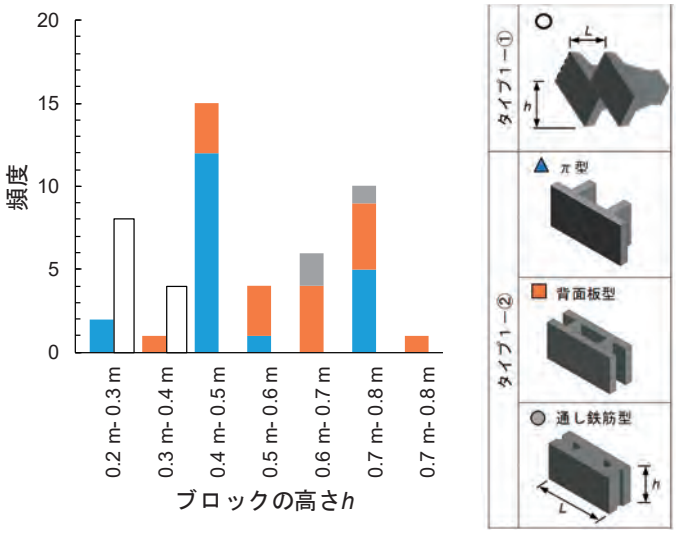


図 2.10　ブロックの高さ h のヒストグラム

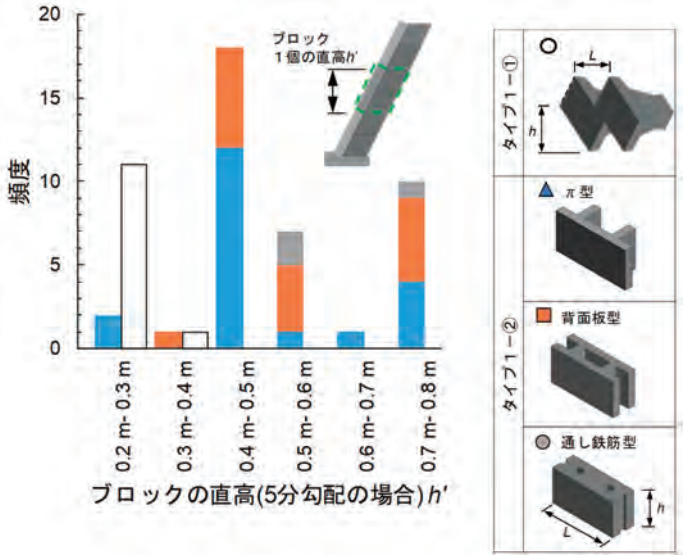


図 2.11　ブロックの直高（5 分勾配の場合）h' のヒストグラム

図 2.12 には、調査したタイプ 1-①、②の製品のブロック 1 個の長さ L の頻度を示す。タイプ 1-①は平均が 0.38 m であった。タイプ 1-②は幅広く分布しているが、概ね 1.00 m、1.25 m、1.50 m 及び 2.00 m の 4 種類であった。タイプ 1-②においては類型化した型毎の目立った偏りは認められない。

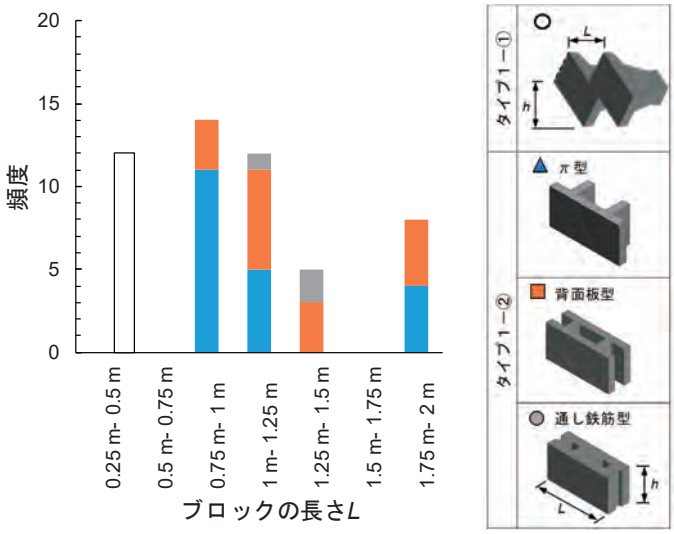


図 2.12　ブロックの長さ L のヒストグラム

図 2.13 には、調査したタイプ 1-①、②の製品のブロック 1 個の面寸法 $L*h$ の頻度を示す。タイプ 1-①は平均が 0.12 m^2 であった。タイプ 1-②は 0.5 m^2 と 1.00 m^2 程度の製品が多かった。類型化した型ごとに着目すると、π 型については 0.5 m^2 程度の製品が多く、背面板型については 1.00 m^2 程度の製品が多い。

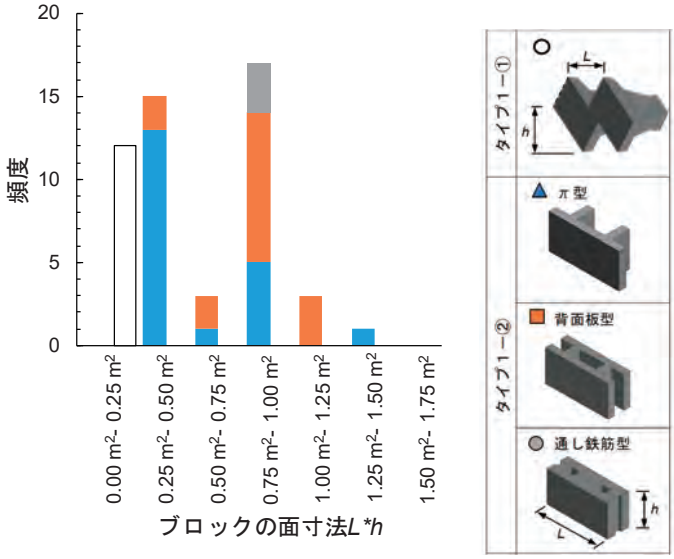


図 2.13　ブロックの表面積 $L*h$ のヒストグラム

(3) 胴込めコンクリート比

図 2.14 には胴込めコンクリート比の頻度を、図 2.15 には胴込めコンクリート比とブロックの面寸法 $L*h$ の関係を示す。胴込めコンクリート比は、タイプ 1-①とタイプ 1-②で同程度の範囲にあった。タイプ 1-①の胴込めコンクリート比は、概ね 0.4～0.6 の範囲にある。タイプ 1-②も同様の傾向にあり、その最頻値は 0.5～0.6 の範囲にある。タイプ 1-②において、通し鉄筋型は胴込めコンクリート比が小さいが、π型及び背面板型は概ね同程度の範囲にある。

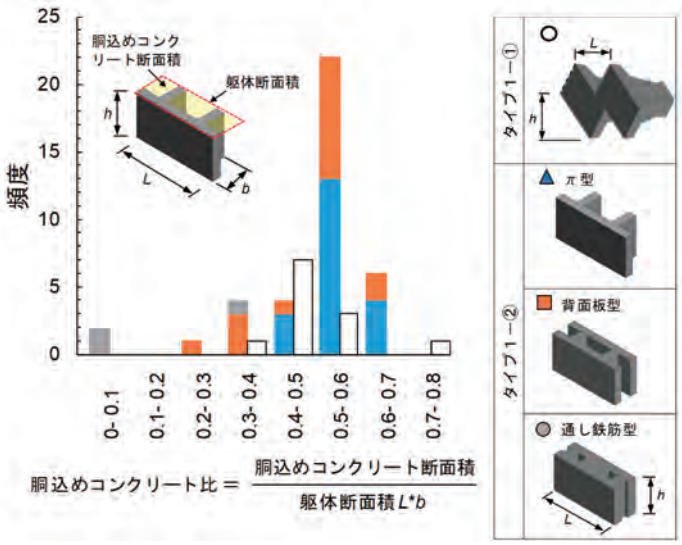


図 2.14　胴込めコンクリート比のヒストグラム

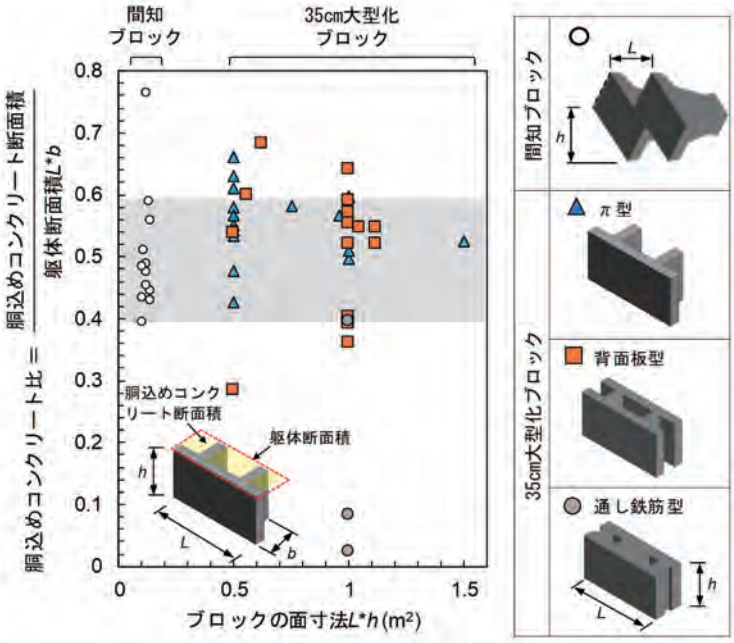


図 2.15　胴込めコンクリート比とブロックの面寸法の関係

2.3. 本章のまとめ

本章では、道路の擁壁として用いるプレキャスト工法の現状を把握するために、2.1 節では新技術情報提供システム（NETIS）に基づいて製品の実態を調査し、構造的な特徴に基づいて整理し、及び次章以降の検討で着目すべきポイント等を整理した。また、2.2 節ではタイプ 1-②の製品実態をさらに詳しく調べ、タイプ 1-①の製品実態と比較した。以下に、本章の範囲で得られた知見を示す。

2.1 節関連

1) NETIS に基づいて、プレキャスト擁壁として 60 製品を抽出した。それらを構造的特徴に基づいて、ブロック積擁壁については３タイプに、その他の擁壁については４タイプ（①特殊形状のコンクリート部材を用いた構造、②タイ材と控え部材を用いた構造、③直壁、④ジオシンセティクスセルを積層した構造）に分類した。
2) 製品の最大適用高さ H は、5 m < H ≦ 8 m が全体で最も多いが、8 m < H も全体の約 37%であり 15 m を上回るものもあった。
3) 最急適用壁前面勾配は、1:0.3 及び 1:0.5～が約４割ずつであった。
4) 控長 d は、500 mm < d ≦ 1000 mm 及び 1500 mm < d が約 3 割ずつであり、特に 1500 mm < d のほとんどがタイプ 3 であった。また、タイプ 2-②の 83%（５件）が 500 mm < d ≦ 1000 mm であった。
5) ブロック前面の面積 A は、0.5 m^2 ≦ A（一般的な間知ブロックの約４倍）のものが 77%を占めた。1 m^2 ≦ A < 2 m^2（同約８～15 倍）が最も多く、最大で 3 m^2 程度（同約 23 倍）のものもあった。
6) ブロックの配置は、水平積が 65%（55 件）と最も多い。また、勾配積及び水平積のうち約半数ずつが芋積及び千鳥積であった。
7) 上下に隣接するブロックどうしの接合部については、その面積はタイプ 1-②では 0.5 m^2 程度までの範囲にあり、このうち胴込めコンクリートの占める割合は、0.3～0.9 と広い範囲に分布していた。対して、タイプ 2-1 及びタイプ 3 は 5 m^2 程度までの範囲にあるものの、胴込めコンクリートの占める割合は 0.5～0.8 の範囲にあった。
8) 以上の結果を踏まえて、次章以降の検討で着目すべきポイントやプレキャスト擁壁を適用するうえでの留意点を整理した。
9) 主たる材料に樹脂等が使用されている製品があった。例えば、ブロック積擁壁の代替として適用する場合には、コンクリートと同等の耐久性が確保されているかという観点で、材料の耐久性を確認しておく必要があると考えられる。
10) タイプ 2-②の中には、裏込め材（砕石）を省略して代わりに排水マットを用いるも

のがあった。擁壁工指針[2)]では「ブロック積擁壁等はその構造の安定上、裏込め材に割栗石や砕石を用いることを前提としているため、その代替として透水マットを用いてはならない。」とされており、ブロック積擁壁等の構造の安定において裏込め材に期待される機能が、別のなんらかの手段等によって満足されているかを確認する必要があると考えられる。

11) タイプ 4-①、4-②及び 4-④のような構造に関しては、道路土工構造物技術基準[14)]の設計における基本的事項に従い、その設計は理論的で妥当性を有する方法や実験等による検証がなされた方法、これまでの経験・実績から妥当とみなせる方法等、適切な知見に基づいて行う必要がある。

2.2 節関連

12) ウェブサイトをとおして、タイプ 1-①に該当する 12 の製品、タイプ 1-②に該当する 39 の製品をそれぞれ抽出した。

13) 積みブロックの形状については、π型が 51%、背面板型が 41%、及び通し鉄筋型が 8%であり、π型と背面板型が大部分を占めていた。

14) 積みブロックと胴込めコンクリートの一体性確保に寄与していると考えられる構造としては、大まかには、シェアホール、返し及び背面板の 3 種類があった。

15) 背面板を有する構造の場合には、背面板の背面に単に裏込めコンクリートを打設しても背面板が一様に平滑なために、その一体性は確保されがたいと考えられる。したがって、裏込めコンクリートを打設する構造の場合においては、裏込めコンクリートと接する面が一様に平滑な構造の積みブロックの使用は避けることが肝要と考えられる。

16) 積みブロック 1 個の高さは、タイプ 1-①は概ね 0.2～0.3 m の範囲、タイプ 1-②はそのほとんどが 0.4 m 以上であった。

17) 積みブロック 1 個の面寸法は、タイプ 1-①は平均が 0.12 m^2 で、タイプ 1-②は 0.5 m^2 と 1.00 m^2 程度の製品が多かった。

18) 胴込めコンクリート比は、タイプ 1-①とタイプ 1-②で同程度の値であり、概ね 0.4～0.6 の範囲にあった。

3. ブロック積擁壁の変状実態の調査・分析

本章では、４章から６章における検討の基礎資料とすることを目的に、ブロック積擁壁の変状事例を収集・分析し、これを参考にして設計において考慮すべきブロック積擁壁の状態を整理した。また、タイプ 1-①及びタイプ 1-②については、近年の地震における変状事例を統計的に整理し、ブロックの積み方と被害の発生確率の関係を分析した。

3.1. 大型ブロック積擁壁等の変状形態の分析

本節では、考慮すべき擁壁の状態を整理することを目的に、大型ブロック積擁壁等のプレキャスト擁壁の変状事例を収集し、躯体の一体性に起因した変状に着目して、その変状形態を分析した。

3.1.1. 調査の方法

大型ブロック積擁壁等のプレキャスト擁壁の変状特性の分析には、次に示す方法等により可能な限り収集した変状事例を使用した。結果として、表 3.1 に示す地震及び豪雨による変状事例が収集された。

①土木研究所及び全国土木コンクリートブロック協会において蓄積した既往の現地調査等の結果

②本共同研究期間内において発生した地震等に対する現地調査結果

表 3.1　分析対象とした変状事例の事象

事象		調査方法
地震	・2004 年新潟県中越地震	①
	・2007 年新潟県中越沖地震	①
	・2011 年東北地方太平洋沖地震	①
	・2016 年熊本地震	①
	・2018 年北海道胆振東部地震	②
	・令和 3 年 2 月 13 日 23 時 08 分頃の福島県沖の地震	②
降雨	・平成 30 年 7 月豪雨	①

3.1.2. 調査の結果

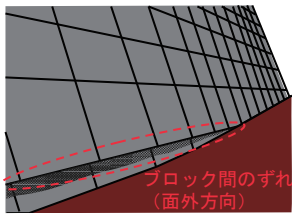
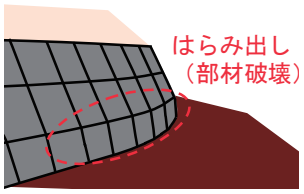
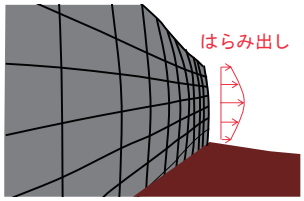
収集した変状事例を基に、躯体の一体性に起因した変状に着目してその形態を分類したが、変状形態の傾向は練積と空積で異なった。

練積の擁壁について確認された変状形態は、擁壁のひび割れ、移動、倒れ、目地の異常（ずれ、開き等）等の従来からコンクリート擁壁において確認されている変状形態 [2)] と同様であり、特徴的な形態の変状は認められなかった。

これに対して空積の擁壁では、表 3.2 のように特徴的な変状が認められた。A-1 は上下のブロック間でずれが生じるモードであり、ブロック間の接合部の強度を確認する必要がある。A-2 は上下のブロック間の荷重伝達によりブロックの控え材が破壊するモードである。個々のブロックの耐力を確認する必要がある。多くの擁壁はブロックどうしが一体化されたものであるが、A-3 は擁壁躯体の剛性が低い構造の場合であり、常時においても壁面にはらみ出しが発生することがある。擁壁躯体の剛性を確認する必要がある。いずれもプレキャスト擁壁を選定するうえで着目すべき重要な項目であるが、特に A-1～A-3 は、構造物の安全性に直結する事項と考えられる。

図 3.1 は、2.1 節で実施した製品実態調査結果に基づいて、上下に隣接するブロックどうしの接合部において、胴込めコンクリートの占める割合－控長の関係を示したものである。同図には、A-1～A-3 に分類されたプレキャスト擁壁の変状事例についても同様にプロットしている。変状事例については擁壁の直高、背面地盤、荷重等の条件が様々であることから、図 3.1 で単純に比較することは必ずしも適切とは言えないが、図 3.1 からは、控長の小さい空積の擁壁で変状が発生しやすい傾向にあることが見て取れる。空積の擁壁の変状メカニズムについては、4 章で詳しく検討する。

表 3.2　PCa 擁壁の変状形態の例（擁壁面外方向の変状）

A-1：上下ブロック間のずれ 地震時等で、ブロック間の水平方向の目地に沿って面外方向にずれが発生	
A-2：ブロックの損傷 地震時等で、上下ブロック間の荷重伝達によりブロックの控え材が損傷。控え材の損傷は直接目視できないが、損傷程度によっては壁面のはらみ出しとして外観に現れることがある。	
A-3：上下ブロック間の回転 ブロックの控長が小さくブロックがその回転に対する抵抗が低い場合に、壁面にはらみ出しが発生	

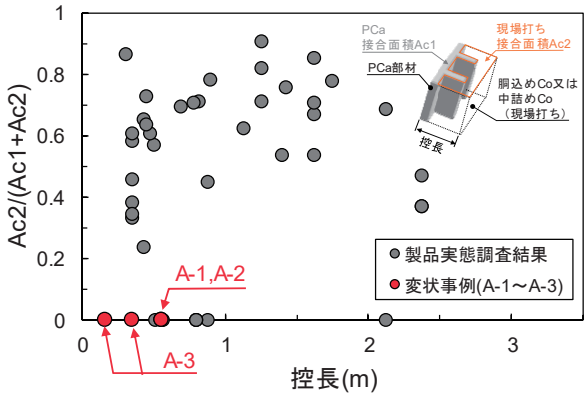


図 3.1　上下ブロックどうしの接合面のうち現場打ちコンクリートが占める割合と控長の関係

3.2. 控長を 35cm のまま大型化したブロック積擁壁の変状傾向の統計分析

本節では、タイプ 1-①及びタイプ 1-②について、近年の地震における変状事例を統計的に整理することを目的に、ブロックの積み方と被害の発生確率の関係を分析した。

3.2.1. 変状事例

（国研）土木研究所及び（公社）全国土木コンクリートブロック協会が蓄積した地震後のブロック積擁壁の既往調査結果より、近年の地震による通常のブロック積擁壁（控長 35 cm 以上）及び大型ブロック（控長 50 cm 以上）の 116 件の変状事例を収集した。

次頁以降に、対象とした地震の概要とブロック積擁壁の調査地点を示す。

表 3.3 収集した変状事例数

	地震の概要		分析対象の件数（件）			
			通常のブロック積擁壁 (控長 35 cm 以上)			大型ブロック (控長 50 cm 以上)
	M*1	最大震度	間知ブロック		35 cm 大型化ブロック	
			谷積	布積	布積	布積
2004 年新潟県中越地震	6.8	7	0	0	1	1
2007 年新潟県中越沖地震	6.8	6 強	0	2	1	1
2011 年東北地方太平洋沖地震	9.0	7	10	2	8	0
2016 年熊本地震	7.3	7	12	4	2	5
2018 年北海道胆振東部地震	6.7	7	11	8	4	1
令和 3 年 2 月 13 日 23 時 08 分頃の福島県沖の地震	7.3	6 強	27	2	9	5
計	―	―	60	18	25	13

*1:マグニチュード

(1) 2004 年新潟県中越地震 [18)]

2004 年 10 月 23 日 17 時 56 分頃に発生した新潟県中越地方の深さ 13 km を震源とするマグニチュード（M）6.8 の地震である。この地震の発震機構は、西北西－東南東方向に圧縮軸を持つ逆断層型であった。この地震により新潟県の川口町で最大震度 7、小千谷市、山古志村、小国町で震度 6 強、長岡市、十日町市、栃尾市、越路町、三島町、堀之内町、広神村、守門村、入広瀬村、川西町、中里村、刈羽村で震度 6 弱を観測し、新潟県を中心に被害が生じた。

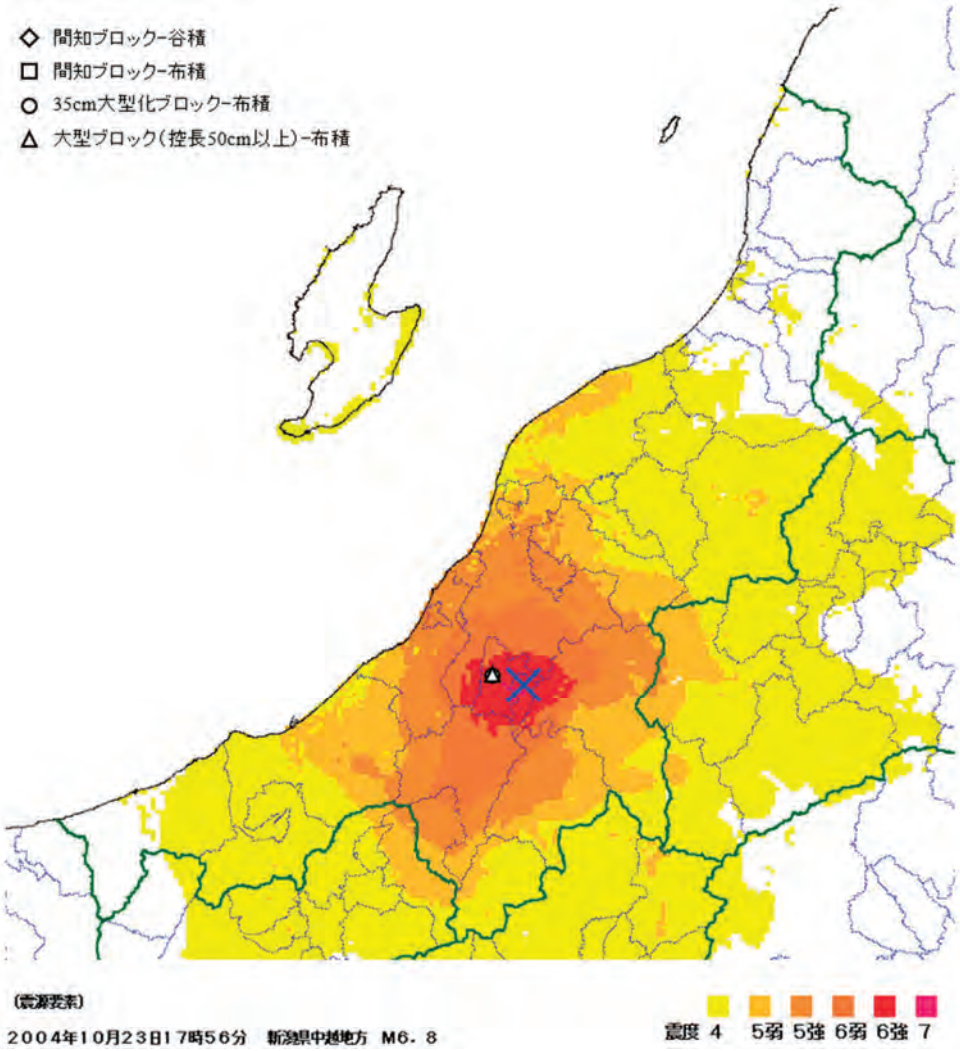


図 3.2 2004 年新潟県中越地震の推計震度分布と調査地点（文献 19)に調査地点を加筆）

(2) 2007 年新潟県中越沖地震 [20)]

2007 年 7 月 16 日 10 時 13 分頃に発生した新潟県上中越沖の深さ約 17 km を震源とするマグニチュード（M）6.8 の地震である。この地震の発震機構は、北西－南東方向に圧縮軸を持つ逆断層型であった。この地震により新潟県長岡市、柏崎市、刈羽村、長野県飯網町で最大震度 6 強、新潟県上越市、小千谷市、出雲崎町で震度 6 弱を観測し、新潟県を中心に長野県、富山県で被害が生じた。

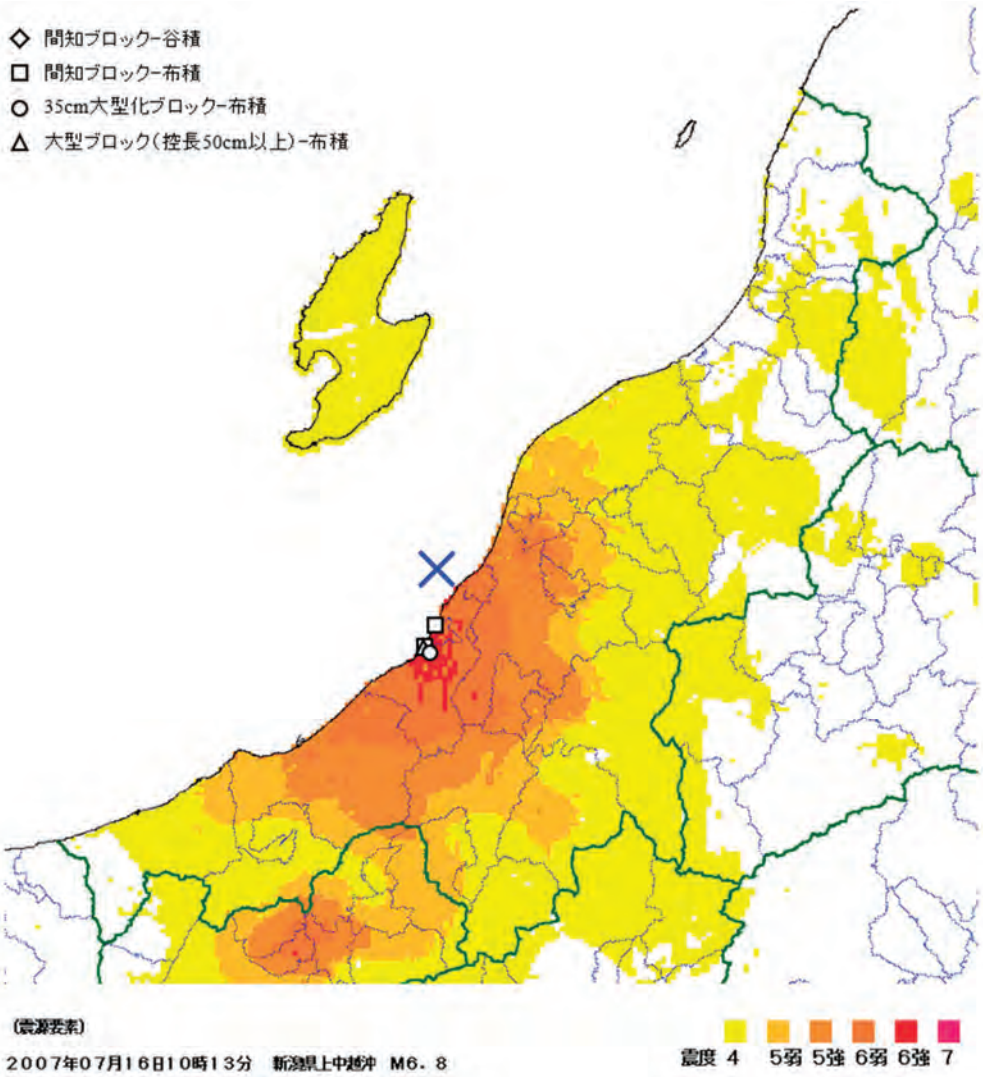


図 3.3 2007 年新潟県中越沖地震の推計震度分布と調査地点（文献 21)に調査地点を加筆）

(3) 2011 年東北地方太平洋沖地震[22)、23)]

2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分頃に発生した三陸沖の海底、深さ約 24 km を震源とするマグニチュード（M）9.0 の地震である。この地震の発震機構は、西北西－東南東方向に圧縮軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した地震であった。震源域は岩手県沖から茨城県沖にかけての南北約 500 km、東西約 200 km、およそ 10 万平方キロの広範囲にわたった。この地震により宮城県栗原市で最大震度 7 が観測され、本震の地震動とそれに伴う津波、およびその後の余震は、東北から関東にかけての東日本一帯に甚大な被害をもたらした。

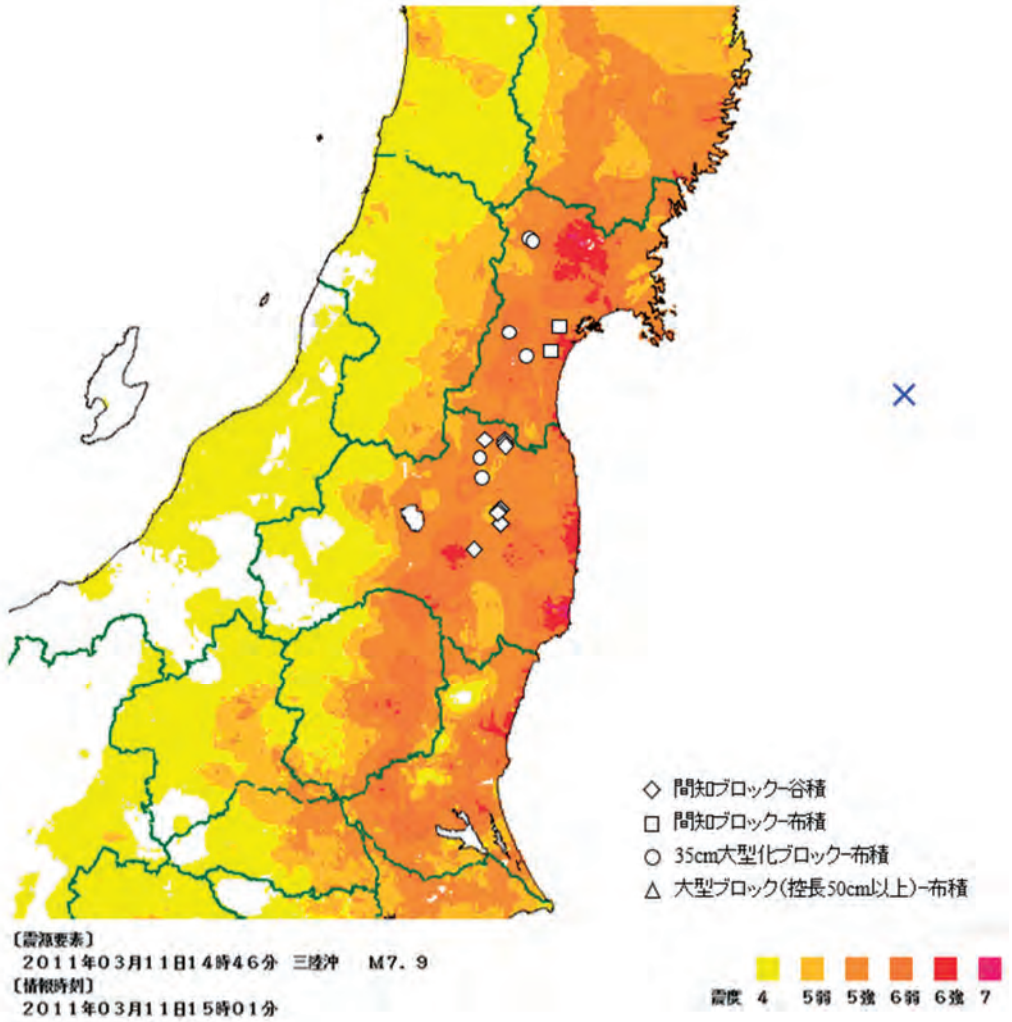


図 3.4　2011 年東北地方太平洋沖地震の推計震度分布と調査地点（文献 24)に調査地点を加筆）

(4) 2016 年熊本地震 [25)、26)]

2016 年 4 月 14 日 21 時 26 分頃に発生した熊本県熊本地方の深さ 11 km を震源とするマグニチュード（M）6.5 の地震（前震）及びその後の 4 月 16 日 1 時 25 分頃に発生した同地方の深さ 12 km を震源とするマグニチュード（M）7.3 の地震（本震）である。これらの地震の発震機構は、前震が北北西－南南東方向に張力軸を持つ右横ずれ断層型、本震が南北方向に張力軸を持つ右横ずれ断層型であった。一連の地震の影響により、西原村と益城町で震度 7 を観測するなど、熊本県及び大分県等において甚大な被害が生じた。

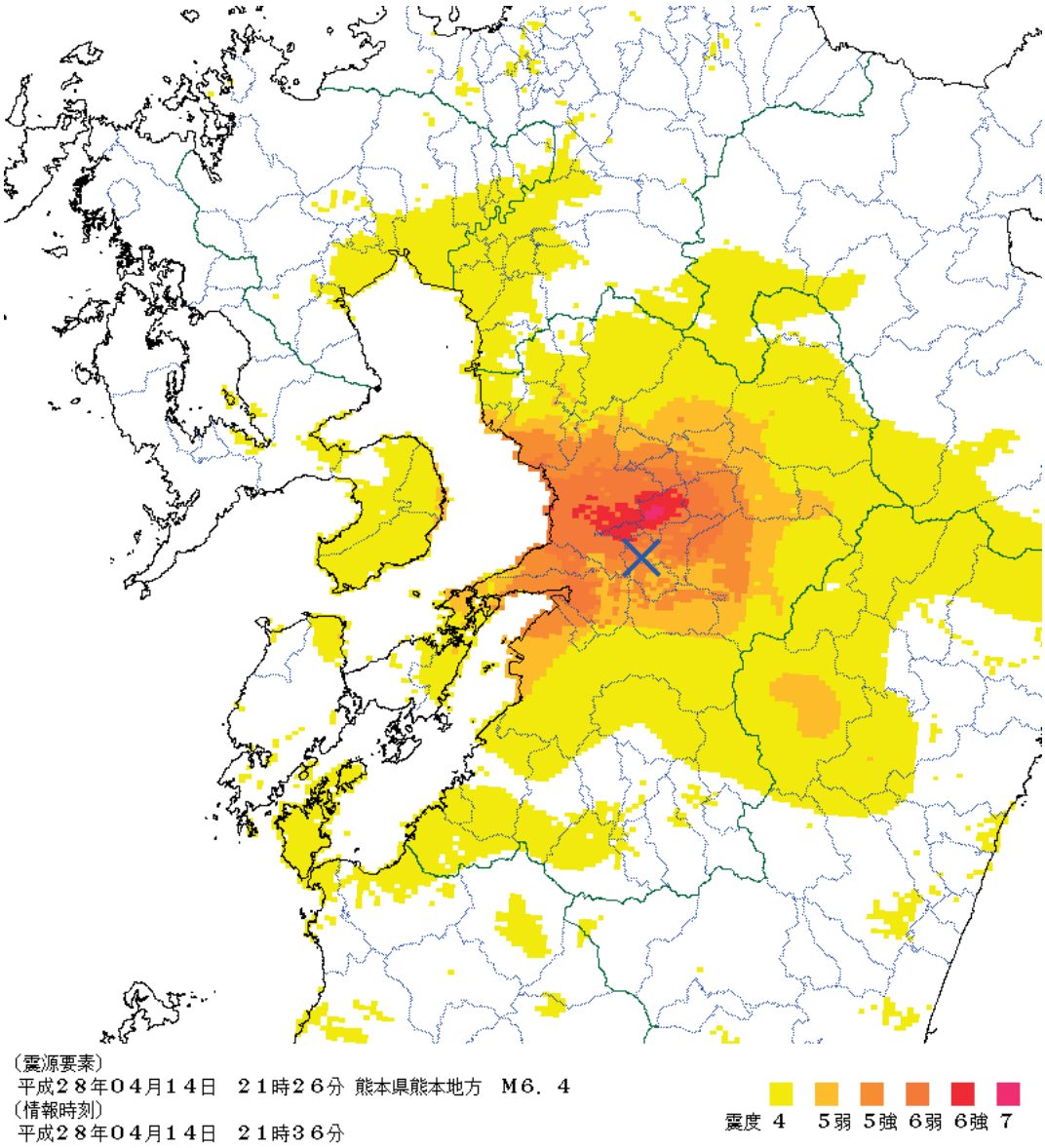


図 3.5　2016 年熊本地震（前震）の推計震度分布 [27)]

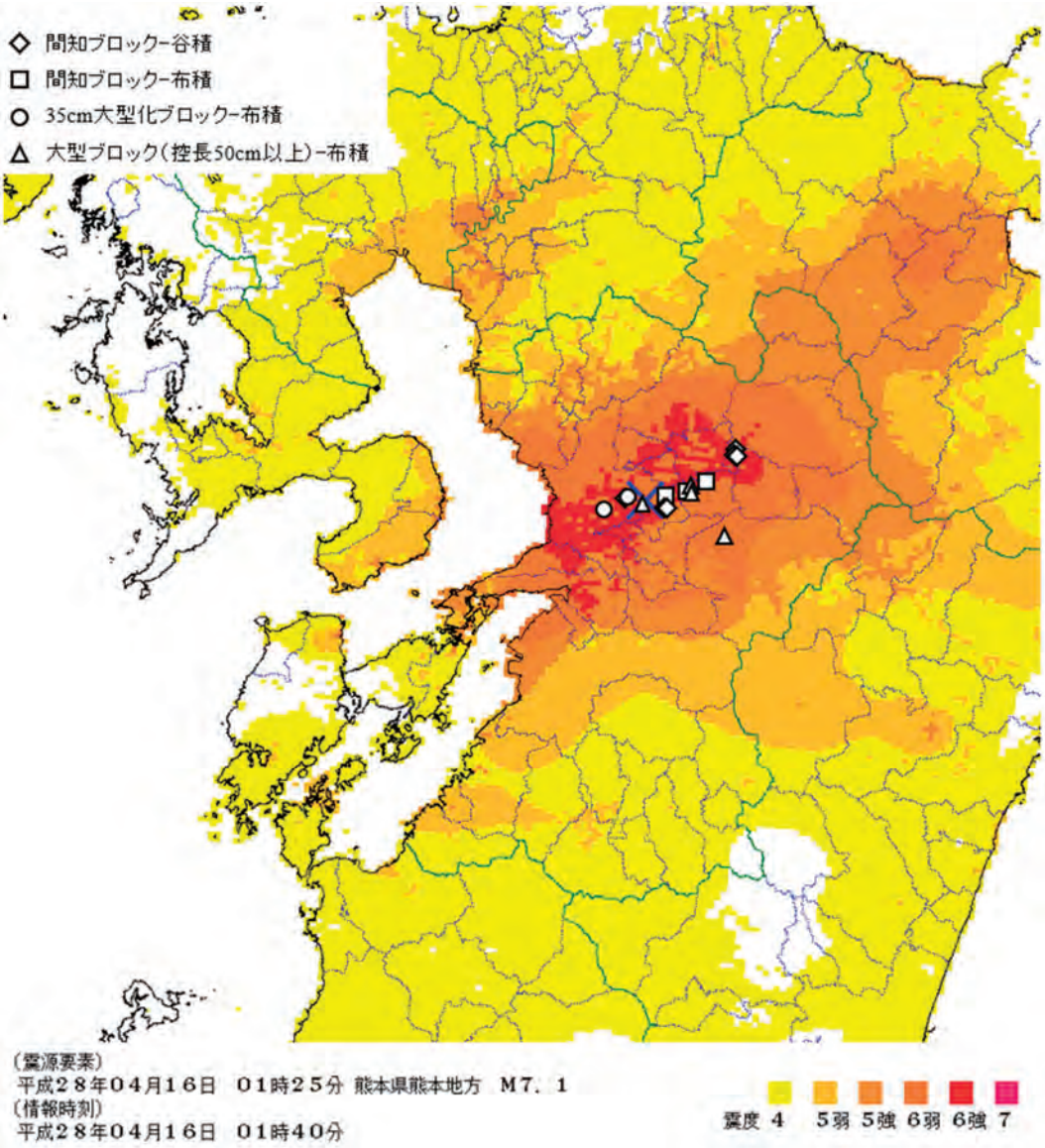


図 3.6　2016 年熊本地震（本震）の推計震度分布と調査地点（文献 28)に調査地点を加筆）

(5) 2018 年北海道胆振東部地震 [29)]

2018 年 9 月 6 日 3 時 7 分頃に発生した、北海道胆振地方中東部の深さ 37 km を震源とするマグニチュード（M）6.7 の地震である。この地震は陸のプレート内で発生し、発震機構は東北東－西南西方向に圧縮軸を持つ逆断層型であった。この地震により厚真町鹿沼で最大震度 7、安平町、むかわ町で震度 6 強、札幌市、江別市、千歳市、恵庭市、三笠市、長沼町、苫小牧市、平取町、新ひだか町等で震度 6 弱が観測され、震源に近い厚真町をはじめ、札幌市においても被害が生じた。

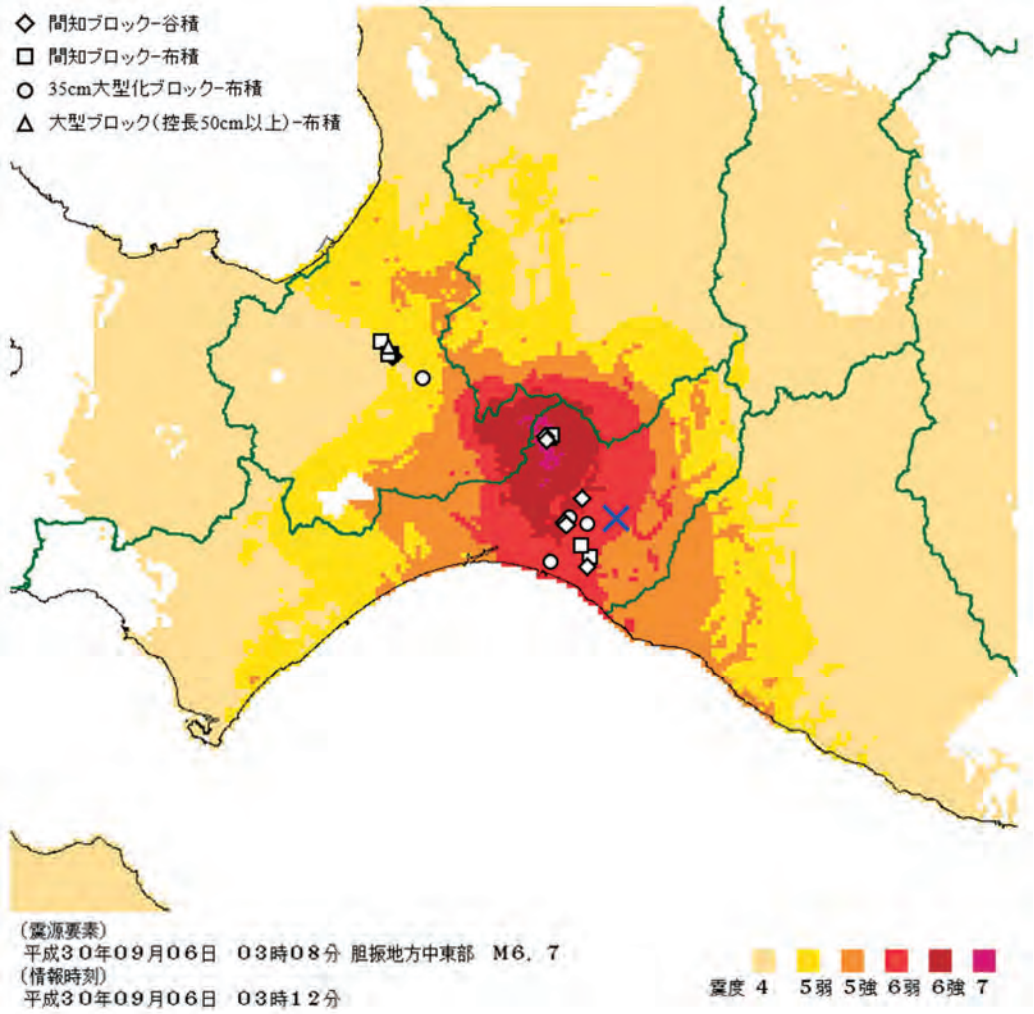


図 3.7　2018 年北海道胆振東部地震の推計震度分布と調査地点（文献 30)に調査地点を加筆）

(6) 2021 年福島県沖の地震 [31)]

令和 3 年 2 月 13 日 23 時 8 分頃に発生した、福島県沖の深さ 55 km を震源とするマグニチュード（M）7.3 の地震である。この地震の発震機構は、西北西－東南東方向に圧縮軸を持つ逆断層型であり、大陸プレートに沈み込む太平洋プレートの内部で発生した地震であった。この地震により宮城県の蔵王町、福島県の国見町、相馬市、新地町で最大震度 6 強を観測するなど、宮城県及び福島県等において被害が生じた。

この地震は「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震」の余震と考えられている。

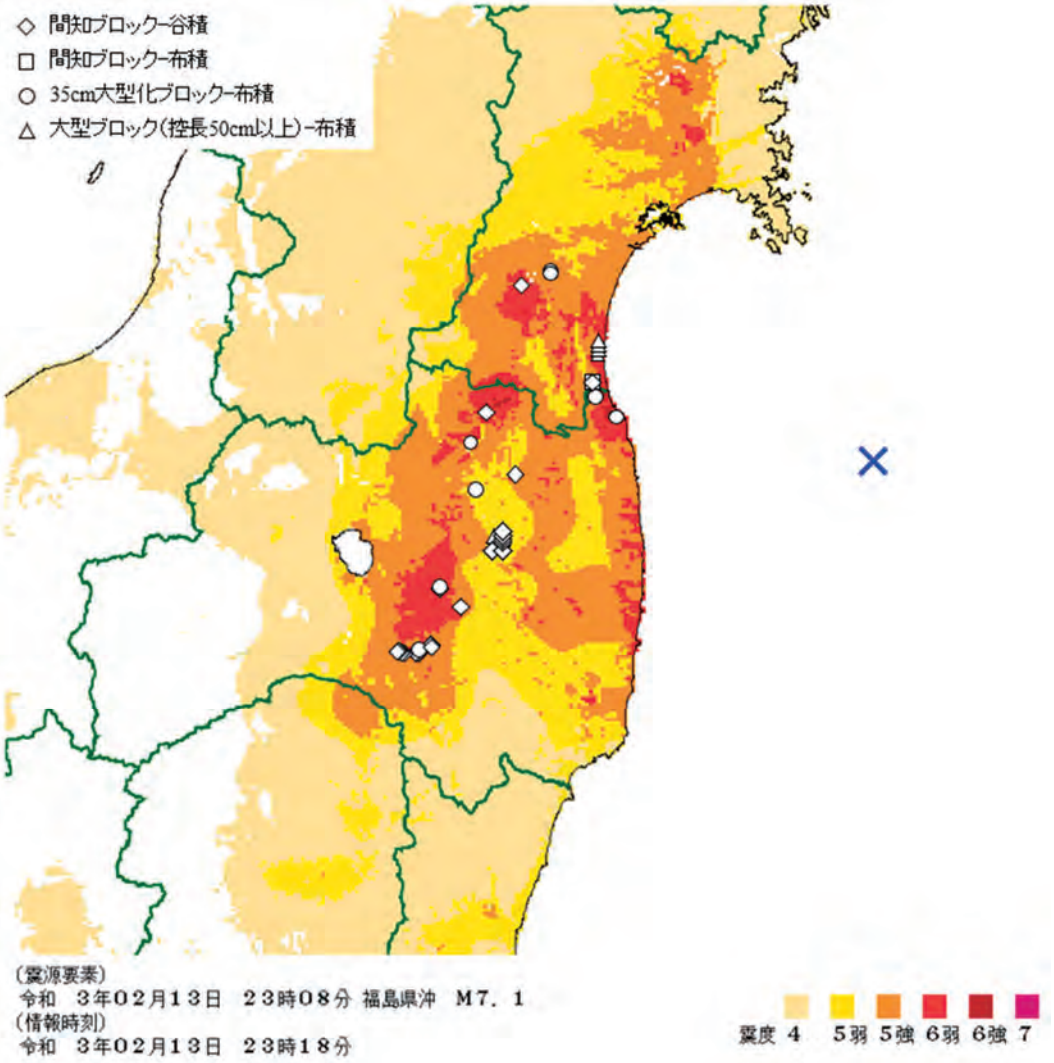


図 3.8 令和 3 年 2 月 13 日 23 時 08 分頃の福島県沖の地震の推計震度分布と調査地点（文献 32)に調査地点を加筆）

3.2.2. 統計分析の方法

前項で収集した変状事例を統計分析に供した。まず、擁壁工指針の擁壁の限界状態１～３（表 3.4）を基準として、擁壁の状態を①健全、②修復可能、③修復不可及び④倒壊に区分した。擁壁の状態の区分に当たっては、個別の事例で措置に関する情報があるものについてはその情報に基づいて区分した。措置の情報が無い事例については、個別の変状事例に対してブロック積擁壁に関する熟練技術者によって措置を推測（以下「措置に基づいた区分」という。）し、これによって擁壁の状態を区分した。図 3.9 に、このようにして区分した変状事例に対する擁壁の状態の例を示す。主な変状形態として、ブロック間の目地の開き、ひび割れ、傾倒、はらみだし等が確認された。ひび割れ、傾倒等のうち軽微なものに関しては限界状態 2 にとどまるが、変状程度が大きいひび割れ、傾倒、はらみだし等になると損傷の修復が困難となり、限界状態 2 を満足しないケースが多くなる傾向が得られた。

表 3.4 擁壁の要求性能に対する限界状態と照査項目（例）（日本道路協会 道路土工－擁壁工指針 [2)]）

要求性能	擁壁の限界状態	構成要素	構成要素の限界状態	照査項目	照査手法
性能１	想定する作用によって生じる擁壁の変形・損傷が，擁壁の機能を確保し得る限界の状態	擁壁，基礎地盤及び背面盛土	擁壁が安定であるとともに，基礎地盤及び背面盛土の力学特性に大きな変化が生じず，かつ，擁壁を構成する部材及び擁壁により形成される道路から要求される変位にとどまる限界の状態	安定	安定照査・支持力照査
				変形	変形照査
		擁壁を構成する部材	力学特性が弾性域を超えない限界の状態	強度	断面力照査
性能２	想定する作用によって生じる擁壁の変形・損傷が，修復を容易に行い得る限界の状態	擁壁，基礎地盤及び背面盛土	復旧に支障となるような過大な変形や損傷が生じない限界の状態	変形	変形照査
		擁壁を構成する部材	損傷の修復を容易に行い得る限界の状態	強度・変形	断面力照査・変形照査
性能３	想定する作用によって生じる擁壁の変形・損傷が，隣接する施設等への甚大な影響を防止し得る限界の状態	擁壁，基礎地盤及び背面盛土	隣接する施設へ甚大な影響を与えるような過大な変形や損傷が生じない限界の状態	変形	変形照査
		擁壁を構成する部材	部材の耐力が大きく低下し始める状態	強度・変形	断面力照査・変形照査

※限界状態は擁壁自体の状態だけを対象とし、擁壁工指針に基づいた。

図 3.9　変状事例に対する擁壁の状態の区分（例）

次に、図 3.9 のように区分した擁壁の状態毎の震度別変状割合を定量的に求めるために、２値回帰分析を行った。ここで、擁壁の変状は擁壁の部材損傷のみを対象とし、嵩上げ盛土の変状等は取り扱わないこととした。本報では取り扱いの容易さからロジスティック回帰分析を用いた。使用したデータは表 3.3 から、変状形態が不明なもの及び間知ブロックを布積としたブロック積擁壁を除外した 92 の事例である。ロジスティック回帰式を次式に示す。

$$p(x) = \frac{1}{1 + exp\{-(b_0 + b_1 x)\}} \tag{3-1}$$

ここで、$p(x)$は擁壁の変状割合、xは震度、b_0及びb_1は回帰係数である。今回、躯体底面の水平滑動変位、回転変位等の量的データの収集が一部に限られていたこと、入手が容易でマクロ的に変状割合を算出することを考慮し、回帰分析の目的変数は擁壁の変状の有無（あり：１、なし：０）、説明変数は震度とした。

3.2.3. 統計分析の結果

ロジスティック回帰分析による変状割合の結果を図 3.10 に示す。図 3.10 の下段には、ロジスティック回帰結果を擁壁の状態（②③④）毎に色を変えて示している。実線が回帰曲線であり、その周囲には 95%信頼区間を合わせて示している。回帰分析の結果、いずれの擁壁の状態でも震度が大きくなるにつれて変状の割合は増加しているが、擁壁の状態によって回帰曲線の傾きが異なることが分かる。同じ震度における変状割合は、④倒壊、③修復不可、②修復可能の順に大きい。これは、本分析に使用した事例が構造物の損傷に関する一般的な特徴と整合したといえると考えられる。すなわち、擁壁工指針の限界状態と個別の変状事例の状態が概ね一致しており、前述の″措置に基づいた区分″が妥当であったことを意味している。ただし、地震後の現地調査では変状した擁壁に着目されるケースが多く、今回使用したデータは既存のブロック積擁壁群の母集団を代表していない可能性が高いため、あくまで変状割合は②修復可能、③修復不可及び④倒壊の間の相対値と捉えて解釈すべきであることに留意されたい。

次に、図 3.10 の上段には、部材の損傷が認められた擁壁の状態（②③④の内訳）を″間知ブロックを用いた谷積のブロック積擁壁″と″控長を 35 cm のまま大型化したブロックを布積としたブロック積擁壁″についてそれぞれ示している。両者のサンプル数にはやや偏りはあるものの練積という条件においては、間知ブロックを谷積にした場合と控長を 35 cm のまま大型化したブロックを布積にした場合において、両者の変状傾向に有意な差は認められなかった。すなわち、ブロック積擁壁の躯体の一体性を確保するためには、適切に胴込めコンクリートが配されていることが重要であるといえる。

なお、間知ブロックを布積としたブロック積擁壁については、本検討において対象としていないことに留意されたい。また、今回の分析ではサンプル数が必ずしも十分とは言えないこと、またサンプルの抽出にバラツキがみられるため、今後の現地計測データをさらに蓄積していくことが必要である。

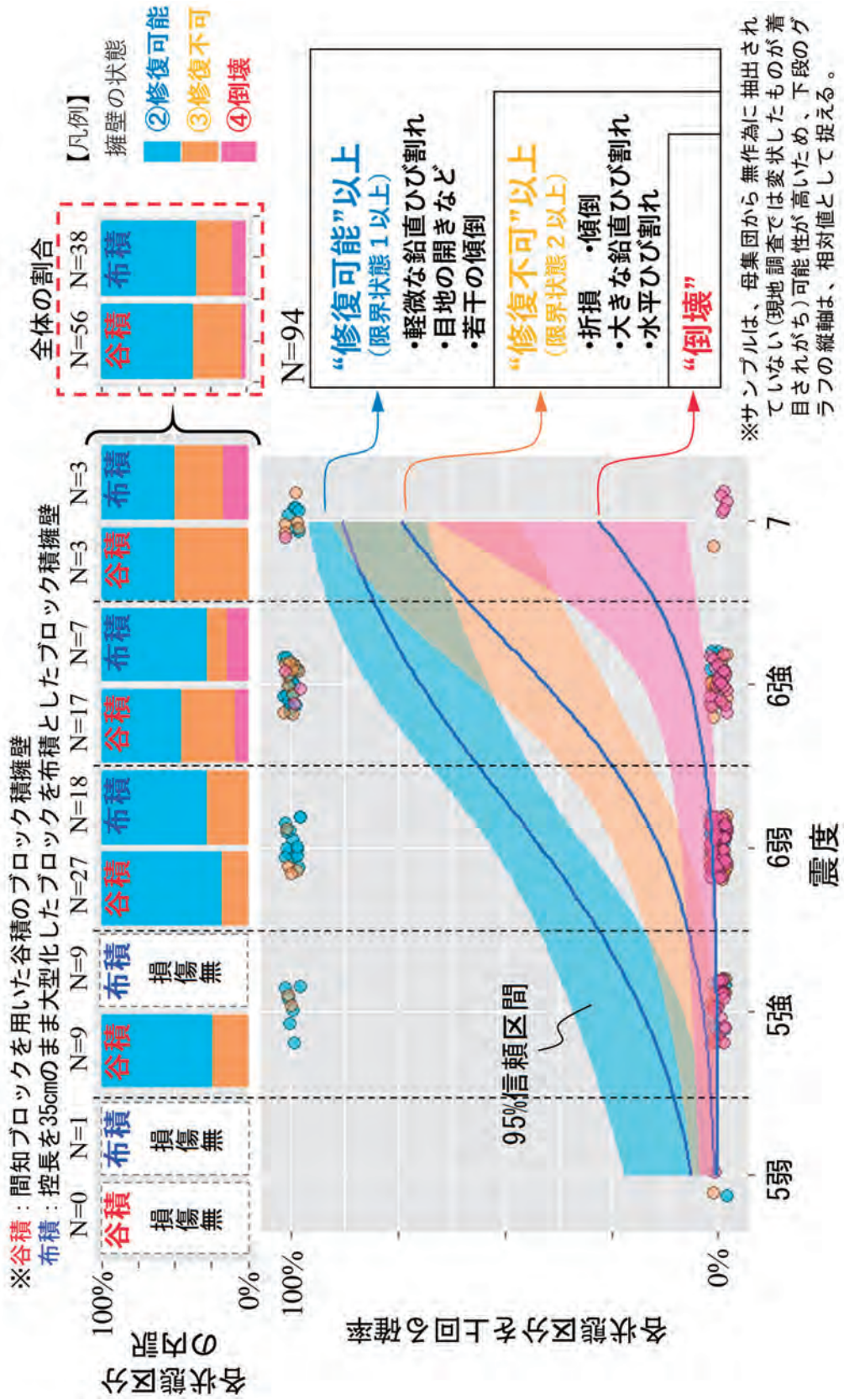


図 3.10　変状実態のロジスティック回帰分析結果

3.3. 本章のまとめ

本章では、ブロック積擁壁の変状事例を整理し分析した。3.1 節では、変状形態と推定される変状要因を類型化し設計上の課題点を整理した。3.2 節では、ブロック積擁壁の既往の地震被害事例を統計的に分析し、ブロックの積み方等による被害傾向を定量的に検討した。その結果を踏まえると、胴込めコンクリートの施工品質の確保により、谷積よりも施工が容易な布積の場合でも同等の性能が確保されると考えられ、胴込めコンクリートの施工品質を確保するための方法については 5.3 節にて検討する。以下に、本章の範囲で得られた知見を以下に示す。

<u>3.1 節関連</u>

1) プレキャスト擁壁の複数の変状事例を基に躯体の一体性に起因した変状に着目してその形態を分類したところ、変状形態の傾向は練積と空積で異なった。
2) 練積の擁壁について確認された変状形態は、擁壁のひび割れ、移動、倒れ、目地の異常（ずれ、開き等）等の従来からコンクリート擁壁において確認されている変状形態と同様であり、特徴的な形態の変状は認められなかった。
3) これに対して空積の擁壁では、上下のブロックどうしの接合部でずれるモード、上下のブロックどうしの接合部における鉛直力の伝達によりブロックの控え材が破壊するモード、躯体の剛性不足により壁面がはらみ出すモードの３つの特徴的な変状が認められた。

<u>3.2 節関連</u>

4) 控長を 35cm のまま大型化したブロックを布積としたブロック積擁壁と間知ブロックを用いた谷積のブロック積擁壁について、既往の地震被害事例を収集し、変状傾向をロジスティック回帰分析した結果、練積という条件においては、両者の変状傾向の間に有意な差は無いことを確認した。
5) すなわち、適切に胴込めコンクリートが配されているということが重要である。

4. 空積のブロック積擁壁の変状メカニズムの検証

3 章では、大型ブロック積擁壁の変状形態について整理した。本章では、このうち空積の大型ブロック積擁壁のブロックどうしの接合部がずれるなど、擁壁の安定の喪失に直結すると考えられる変状形態に着目し、傾斜土槽模型実験によりその変状メカニズムを調べるとともに FEM 解析を実施し、解析モデルの妥当性を検証した。さらに、ブロックの単位体積重量及び控長を変数とした FEM 解析によるパラメトリックスタディから、擁壁躯体の変位モード及び変位量を評価した。加えて、非線形動的 FEM 解析により地震時のブロックの応答を詳細に調べた。以上を踏まえて、空積の大型ブロック積擁壁を適用する場合の留意事項を整理した。

4.1. 傾斜土槽模型実験及び FEM 解析

表 3.2 に示した変状形態のうち、安定性に大きく関連すると考えられる上下ブロック間の接合部のずれ（A-1）については、変状事例の状況を想定した傾斜土槽模型実験及び 2 次元 FEM 解析を実施し、擁壁が崩壊するまでの挙動を調べた。

4.1.1. 傾斜土槽模型実験の方法

図 4.1(a)には模型概要図を示す。実験には、内寸が高さ 950 mm、幅 2000 mm 及び奥行 500 mm の土槽を用いた。大型ブロック積擁壁の模型については、変状事例を参考に 7 m の直高の大型ブロック積擁壁を想定した。擁壁工指針[2)]に基づいて背面勾配を 1:0.4、控長を 1 m、ブロック 1 個の高さを 1 m として、10 分の 1 に寸法を縮小した模型とした。

ブロックはモルタル製で、鋼製型枠を用いて製作した。ブロックの形状は図 4.2 のように平行四辺形とし、突起、かみ合わせ等は設けていない。ブロック周面の摩擦を一様とするためにブロックには#1000 の紙やすりを貼り付けた。このような処理をしたブロック間の静止摩擦係数μ は 0.62 であった。

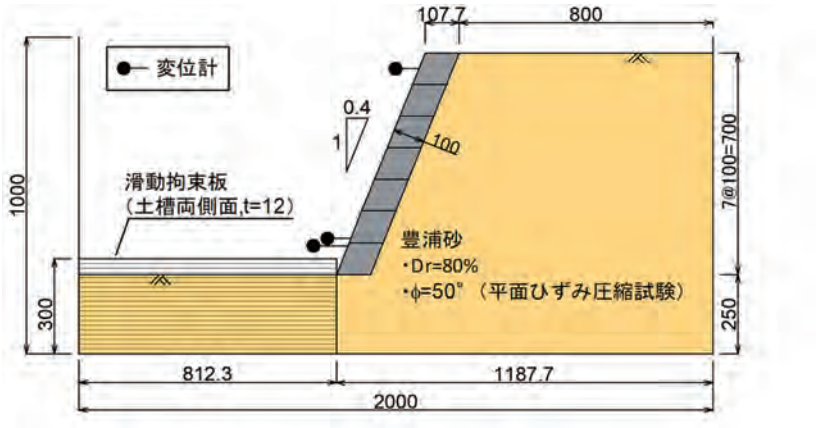
裏込め土及び基礎地盤の材料には豊浦砂を使用した。裏込め土及び基礎地盤の相対密度 D_r は 80%を目標とし、仕上がり厚さが 50 mm となるように重量を管理しながら締め固めて製作した。裏込め土の盛り立てに合わせてブロックを積層した。図 4.3 は、ブロック模型のセットアップを示す。

参考とした変状事例では、擁壁前面の地盤に問題となるような変状が認められなかったことから、この条件を再現するために図 4.1(a)のように土槽内の手前及び奥側に厚さ 12 mm のアクリル板を設置し、1 段目のブロックの水平方向の変位を拘束した。ブロックとアクリル板の間には、テフロンシートを 2 枚重ねて設置し、摩擦を極力除去した。

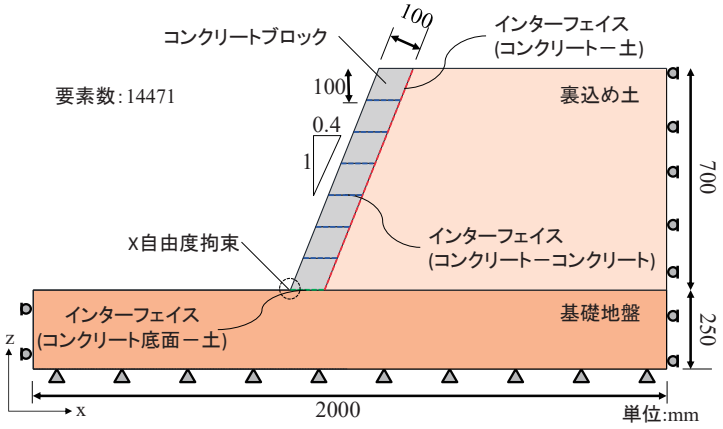
図 4.1(a)に示すように変位計を設置し、高さ 650 mm の位置の擁壁の水平変位 d 及び

１段目と２段目のブロック間のずれを計測した。

図 4.4 のように土槽を傾斜させることにより、模型に対して疑似的な水平力を載荷した。傾斜の速さは 1 分間に 1°として、1°傾斜させるごとに 1 分間の保持を行った。これを 1 ステップとして、模型が崩壊するまでステップを継続した。



(a) 傾斜土槽模型実験概要図



(b)FEM 解析モデル

図 4.1　傾斜土槽模型実験概要図及び FEM 解析モデル図

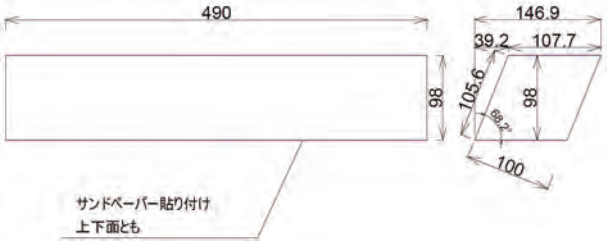


図 4.2　ブロック模型構造図（単位:mm）

図 4.3　ブロック模型のセットアップ

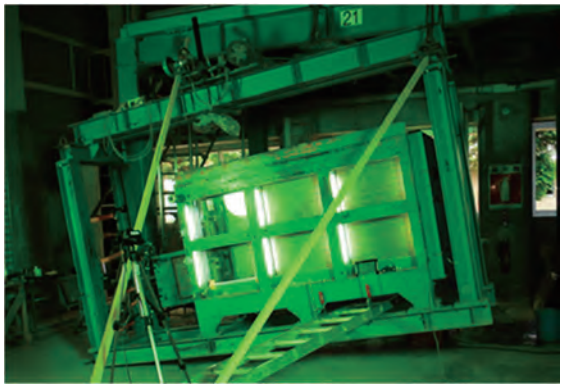


図 4.4　傾斜の様子

4.1.2. FEM 解析の方法

二次元 FEM による数値解析により実験のシミュレーションを行った。図 4.1(b) は解析モデル図を示す。模型全体をモデル化し、地盤及びブロックを 4 節点平面ひずみ要素で表現した。要素数は 14,471 である。解析パラメータを表 4.1 に示す。材料の構成則は、豊浦砂を Mohr-Coulomb に、コンクリートブロックを線形弾性体にそれぞれモデル化した。単位体積重量γは実際の模型の重量を元に設定した。豊浦砂のせん断抵抗角ϕ 及びヤング率 E は、Tatsuoka, et al.[33]の低拘束圧下の豊浦砂の平面ひずみ圧縮試験の結果より、それぞれ$\phi = 50.2°$、$E = 12{,}500\ \mathrm{kN/m^2}$とした。ブロックーブロック間の接触面、ブロックと土の境界部には、ずれと剥離を表現するためにジョイント要素を使用した。ジョイント要素のパラメータは、文献 2)、ブロックーブロック間の摩擦試験結果（静止摩擦係数 $\mu = 0.62$）等を参考に設定した。自重解析の後、土槽の傾斜を表現するために物体力を与えた。具体的には、鉛直方向と水平方向の物体力を傾斜の量に応じて変化させることで考慮した。実験における滑動拘束板は、ブロックつま先の X 方向の自由度を拘束することで考慮した。

表 4.1　裏込め材及び基礎地盤の材料試験結果並びに FEM 解析のパラメータ（傾斜土槽模型実験）

(a) 裏込め材、基礎地盤及びブロック

	裏込め材	基礎地盤	ブロック
構成則	Mohr-Coulomb		線形弾性
単位体積重量 γ (kN/m^3)	15.7	15.7	18.6
粘着力 c (kN/m^2)	0	0	-
せん断抵抗角 ϕ (deg.)	50.2	50.2	-
ポアソン比 ν (-)	0.17	0.17	0.3
ヤング率 E (kN/m^2)	12,300	12,300	23,500,000

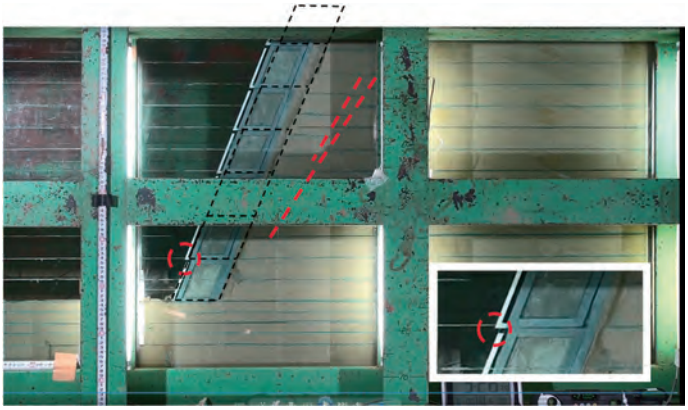
※アンダーラインは材料試験結果

(b) ジョイント要素

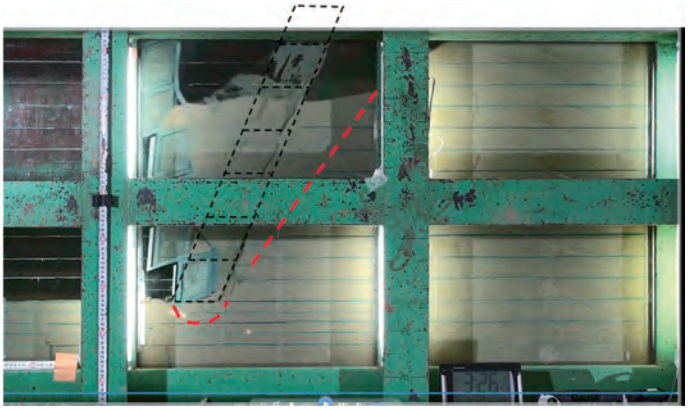
	土ーコンクリート		ブロックー
	背面	底面	ブロック
垂直剛性係数 k_n(kN/m^3)	1.0×10^9	1.0×10^9	1.0×10^9
せん断剛性係数 k_s(kN/m^3)	1.0×10^{-1}	1.0×10^5	1.0×10^5
粘着力 c (kN/m^2)	0	0	0
せん断抵抗角 ϕ (deg.)	33.5	31.0	32.3

4.1.3. 傾斜土槽模型実験及び FEM 解析の結果

図 4.5 には実験における模型側面の変形の状況を、図 4.6 には FEM 解析における鉛直及び水平の合成変位と最大せん断ひずみのコンター図をそれぞれ示した。図 4.7 は、実験及び FEM 解析の結果における高さ 650 mm の位置の擁壁の水平変位 d、1 段目と 2 段目のブロック間のずれ、水平震度 k_h 及び 1 段目と 2 段目のブロック間の滑動安全率の関係である。実験では、$k_h = 0.38$ までは転倒モードが卓越して変位した。ブロック間のずれについては、その量が約 1 mm に達するまでは水平変位 d の増加に対して線形的に増加したが、その後、7 mm 程度まで急激に増加して図 4.5(a)の状態となり、さらにその後には擁壁が全体的に傾倒して図 4.5(b)のように崩壊した。図 4.6 によると、FEM 解析においても擁壁は転倒モードを示し、また 1 段目と 2 段目のブロックの間がずれる形態が認められた。図 4.7 の水平変位 d と水平震度 k_h 関係を参照すると、FEM 解析の結果は、実験の結果と良く一致していると考える。



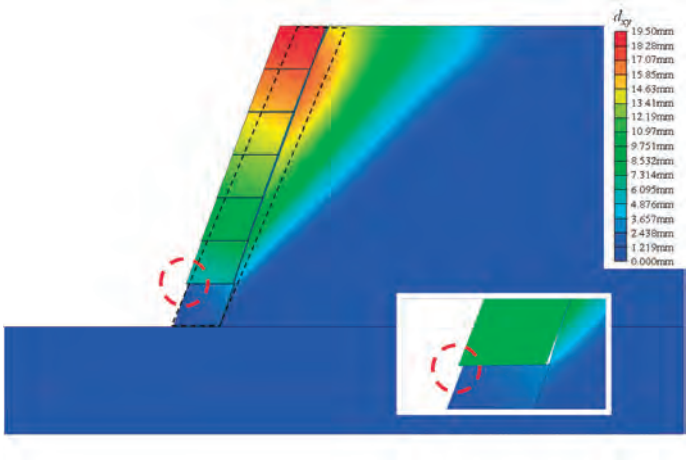
(a)　d = 約 20 mm



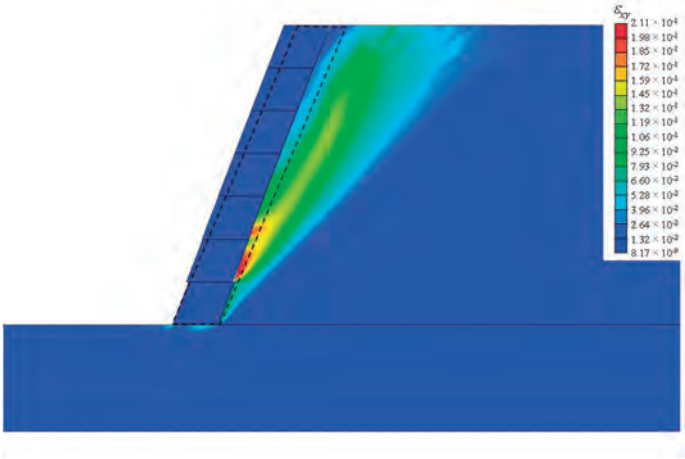
(b)　崩壊時

図 4.5　実験における変形の状態

実験の結果によると、ブロック間がずれる変状形態は急激な擁壁の不安定化につながるものと考えられ、ブロック間の接合部には、突起やかみ合わせにより擁壁としての一体性を十分に確保できる抵抗を付与する必要があるといえる。



(a)　鉛直及び水平の合成変位



(b)　最大せん断ひずみ図

図 4.6　解析における変位と最大せん断ひずみのコンター図（d_x = 約 20 mm）

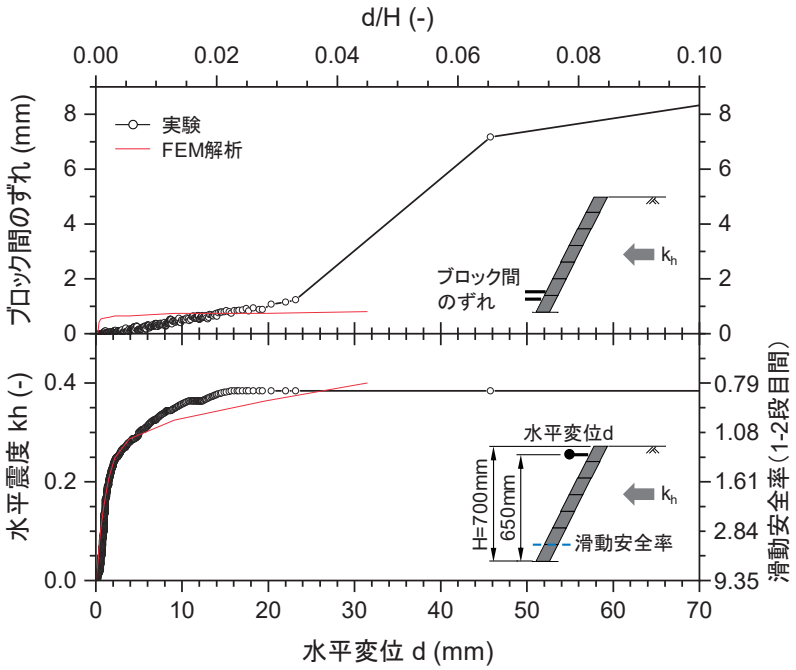


図 4.7　水平震度 k_h－変位 d 関係

4.2. プッシュオーバー解析によるパラメトリックスタディ

本節では、表 3.2 に示した変状形態について、実物大の大型ブロック積擁壁を想定した２次元 FEM 解析を実施した。ブロックの単位体積重量及び控長を変数としてパラメトリックスタディにより、擁壁躯体の変位モード及び変位量を評価した。

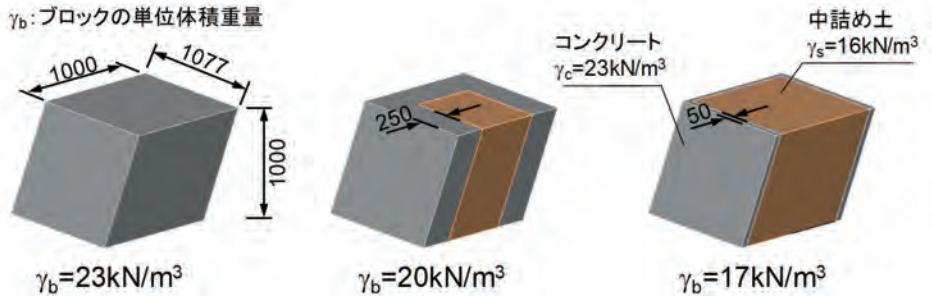
4.2.1. 解析の方法

前項の傾斜土槽模型実験の再現解析結果を参考に、実物大の大型ブロック積擁壁を想定した２次元 FEM 解析を実施した。表 4.2 には解析条件を示す。すべてのケースで直高 H は 7.0 m、壁面勾配は 1:0.4 とした。擁壁は、空積を想定した分割されたブロックを積層した場合（以下「分割型」という。）と、練積を想定して一体とした場合（以下「一体型」という。）の２種類とした。分割型の場合には、ブロック 1 個の高さ h を 1.0 m として、控長 b を変数とした。過去に実施したプレキャスト製品の実態調査結果によると、空積の擁壁では、中空のブロックを用いて砕石や現地発生土を中詰めするものが多いと認められた。中空のブロックに土を中詰めした状態を考慮するために表 4.2 に示した形状のブロックを想定し、コンクリート及び中詰め土のそれぞれの容積に応じて、ブロックの単位体積重量を 17.0、20.0 及び 23.0 kN/m^3 とした。ここで、中詰め土には現地発生土を用い、中空のブロック内で中詰め土を十分に締め固めることは容易でないことを想定して、その単位体積重量を 16 kN/m^3 としている。ブロックを２次元平面ひずみ要素でモデル化しようとした場合、精緻には、中詰め土とコンクリートを合わせたブロックの弾性係数は中詰め土の量に応じて異なるべきであるが、本解析ではブロックの弾性係数は裏込め土や基礎地盤の弾性係数に比して十分に大きいものと考えて、ここでは考慮していない。裏込め土及び基礎地盤は文献 2)を参考にその物性値を決定した。

水平方向の物体力、すなわち水平震度を静的に漸増させるプッシュオーバー解析を実施した。物体力の大きさは、前述の解析で挙動が再現できた範囲内の k_h = 0.20 とした。ジョイント要素のパラメータは、前述の傾斜土槽模型実験の値を参考に設定した。要素数は 23,482 要素でモデル化した。

表 4.2　解析条件（パラメトリックスタディ）

	裏込め材	基礎地盤	ブロック
構成則	Mohr-Coulomb		線形弾性
単位体積重量 γ (kN/m^3)	19.0	20.0	17.0, 20.0, 23.0
粘着力 c (kN/m^2)	0	0	-
せん断抵抗角 ϕ (deg.)	30.0	35.0	-
ポアソン比 ν (-)	0.35	0.30	0.30
ヤング率 E (kN/m^2)	14,000	84,000	23,500,000
ブロックの縦横比 b / h	-		0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0



（寸法の単位 ： mm）

4.2.2. 解析の結果

図 4.8 には、相対水平変位 d_x を壁高 H で正規化した d_x/H、ブロック間のずれ d_{xs} を控長 b で正規化した d_{xs}/b、及びブロック間の相対回転角 θ の高さ方向の分布 y/H（y は下端からの任意の高さ）の関係を示す。分割型は総じて一体型よりも変位が大きい傾向にあった。一体型の場合には剛体的に傾倒したことに対して、分割型はブロックの縦横比 b/h 及びブロックの単位体積重量 γ が小さくなるにつれて、高さの中程（y/H= 約 0.6）を頂点としてはらみ出した。これは、表 3.2 に類型化した変状形態のうち A-2 に該当する変状形態である。特にブロックの縦横比 b/h の影響は大きい。b/h = 1.0 の場合の y/H = 約 0.6 での d_x/H を例にとると、γ= 23 kN/m^3 に対して 20 kN/m^3 及び 17 kN/m^3 は、それぞれ 2.4 倍及び 4.6 倍であった。この傾向は、図 3.1 に示したように変状は控長 b が小さい範囲で認められたこととも整合する。

ブロックの単位体積重量 γ については、ブロックの縦横比 b/h ほどは影響が大きくないものの、例えば b/h = 1.0 においては、γ= 23 kN/m^3 に対して 17 kN/m^3 の d_x/H は約 1.5 倍となった。この結果は擁壁躯体の変形を小さくするうえでは、中詰め材には単位体積重量の大きな材料を使用することが必要であることを示すものである。一方で、中空の形状をしたコンクリートブロックに対して中詰め土を十分に締固めることは、通常の裏込め土の締固めに比べれば容易ではないと考えられることから、実際の施工を再現して中詰め土の単位体積重量を確認し、中詰め土に用いる材料を選定することが重要である。

はらみ出すモードは、換言すると擁壁躯体が剛体的に挙動していないことにほかならない。ここでは、はらみ出しの程度を Sabermahani, et al.のはらみ出し指数 I_b [34]により定量的に評価した。

$$I_b = (z_m / H)(d_{xm} / d_{xt}) \tag{4-1}$$

ここに、z_m は擁壁頂部から d_{xm} の箇所までの深さ、H は直高、d_{xm} は最大相対水平変位、d_{xt} は擁壁頂部の相対水平変位である。式(4-1)によると I_b = 0 の場合は剛体的に傾倒した状態であり、I_b が大きい程はらむモードが支配的となる。図 4.9 には、はらみ出し指数 I_b とブロックの縦横比 b/h の関係を示す。b/h が 0.9 までは I_b = 0、すなわち剛体的に傾倒しているが、b/h < 0.8 では I_b > 0 となりはらみ出しが生じている。図 4.8(c)によるとはらみ出しは、ブロック間が相対的に回転することにより発生している。このときブロック間は、点で接触したような状態で荷重の伝達がなされている。すなわち、前掲の表 3.2 の変状形態のうち A-3 に相当する状態であり、A-3 に分類された変状事例では、このような荷重の伝達によると考えられる控え材の損傷が認められている。したがって、特にブロックの控え材の厚さが薄い場合では、曲げ又はせん断による控え材の損傷が生じ得ることから、ブロック間が点で接触するような荷重条件に対しては、部材の安全性を確認

しておくことが重要と考えられる。

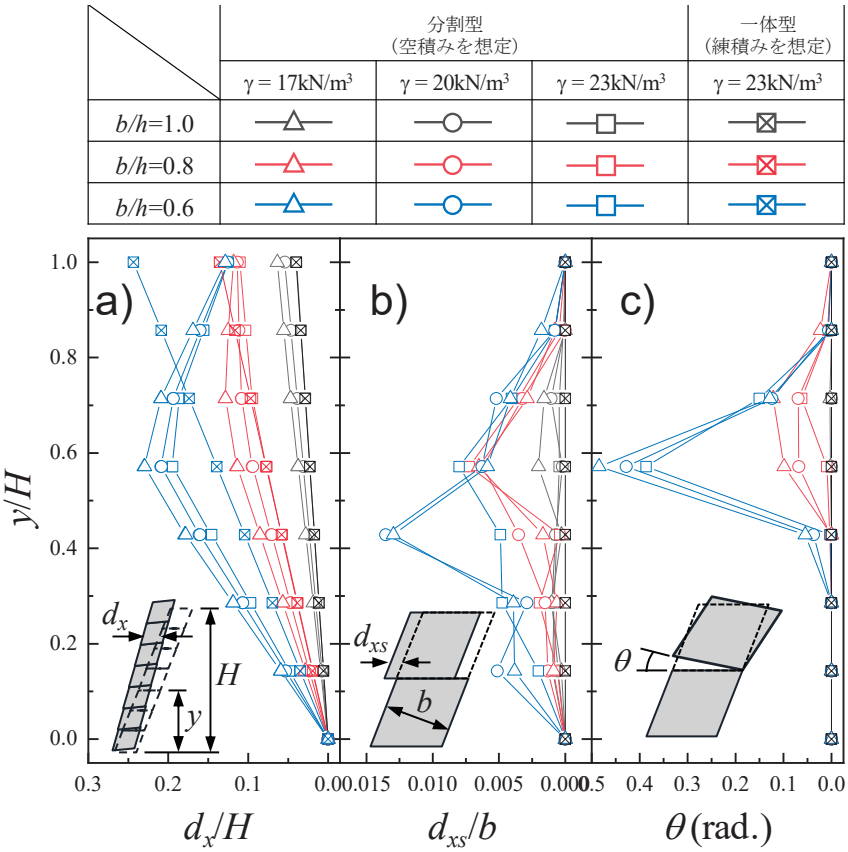


図 4.8　相対水平変位 d_x、ずれ d_{xs} 及び回転 θ の高さ方向分布

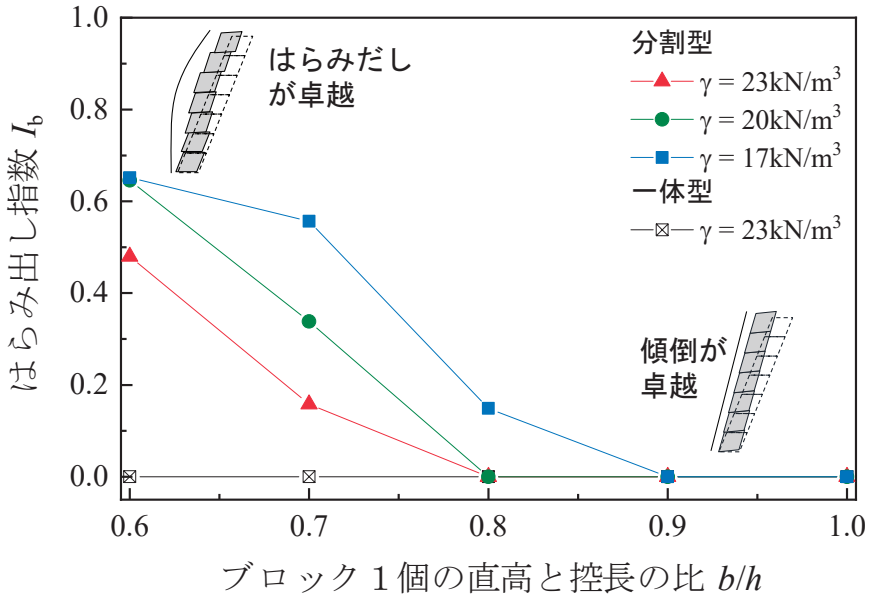


図 4.9　控長、単位体積重量及びはらみ出し指数 I_b の関係

4.3. 非線形動的 FEM 解析

大型ブロック積擁壁の変状事例の調査結果によると、現場打ちコンクリートを使用しない、いわゆる空積の構造において地震時を含めて変状の発生傾向が高く、変状の形態としてはブロック接合部のずれ、ブロックの損傷等の発生が認められる [36]。本章では、空積の大型ブロック積擁壁の地震時挙動を把握することを目的に、ブロック間の接合構造に着目して非線形動的 FEM 解析を実施した。具体的には、接合部に突起が無い空積、接合部に突起がある空積及び練積の場合について、ブロックの挙動及び背面地盤の挙動の観点から比較した。

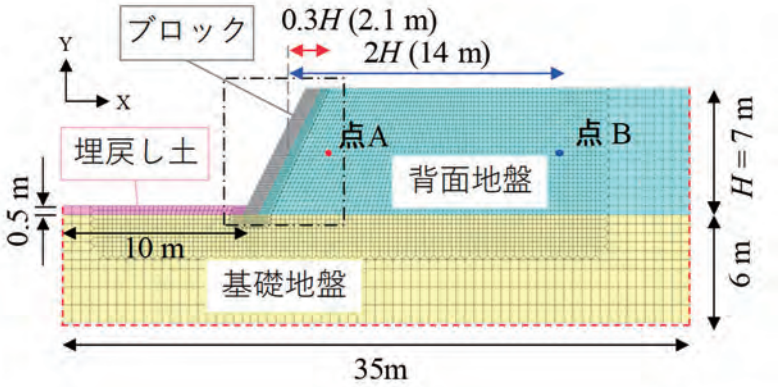
4.3.1. FEM 解析の方法

解析モデル及びパラメータを図 4.10 及び表 4.3 にそれぞれ示す。空積の大型ブロック積擁壁の変状事例及び擁壁工指針 [2]を参考に擁壁躯体は、直高 H が 7 m、控長が 0.75 m、前面勾配が 1:0.5 とした。背面地盤は N 値が 5 の盛土、基礎地盤の N 値は 30 を想定した。擁壁は、路盤を想定した埋め戻し土により 0.5 m の根入れをした。

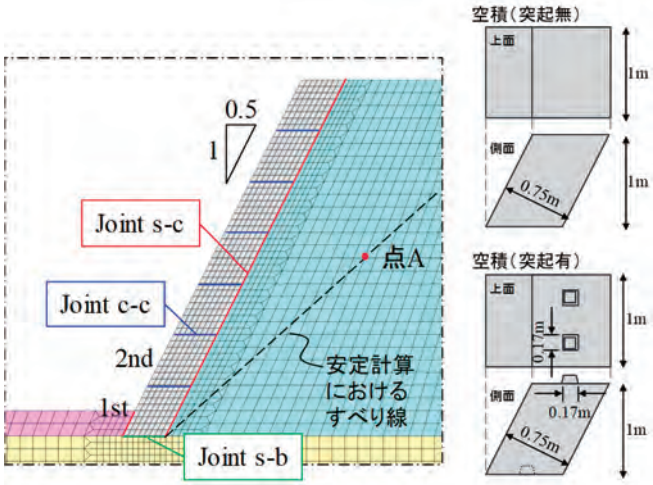
ブロックは、ブロック間の接合構造に着目し①突起の無い空積（以下「空積（突起無）」という。）、②突起の有る空積（以下「空積（突起有）」という。）及び③練積の 3 種類を想定した。非線形ジョイント要素によりブロック間及びブロックと地盤の間のずれ及び剥離を表現した。地盤及びブロック要素の構成則は、それぞれ修正 Ramberg - Osgood モデル（修正 R-O モデル）[37]及び線形弾性とした。ジョイント要素のずれ及び剥離は、Coulomb の破壊基準に基づいた。空積（突起無）には、ブロック間に摩擦を表現するバイリニア型のジョイント要素を用いた。空積（突起有）には、空積（突起無）の摩擦を表現するジョイント要素に加え、突起のせん断抵抗を表現する線形のジョイント要素を挿入した。突起は過去の大型ブロック積擁壁の製品実態調査結果を踏まえて、ブロック中央部に約 170 mm 四方の突起が奥行き 1 m あたり 2 つある場合を想定し、そのせん断剛性は突起のせん断試験結果 [42]を参考に設定した。練積はブロックどうしの接合面を設けずに躯体を一体とした。ここで、図 4.10(a)に示した点 A と点 B は、ブロック間の接合構造の違いに対する背面地盤の挙動を評価するために着目した節点である。点 A は、擁壁の移動等により不安定化する背面地盤の挙動を代表させることを意図した点で、試行くさび法により求まるすべり線上における擁壁直高 H の 1/2 に相当する位置とした。点 B は、擁壁の影響を受けない条件の地盤の挙動を代表させることを意図した点で、点 A と同じ高さで擁壁から十分に離れた位置とした。

入力加速度は図 4.11 のように周波数が 2 Hz の正弦波とし、ピーク加速度を 1 波毎に 100 cm/s^2 ずつ漸増して最大 500 cm/s^2 まで載荷した。動的解析時の境界条件には、粘性ダ

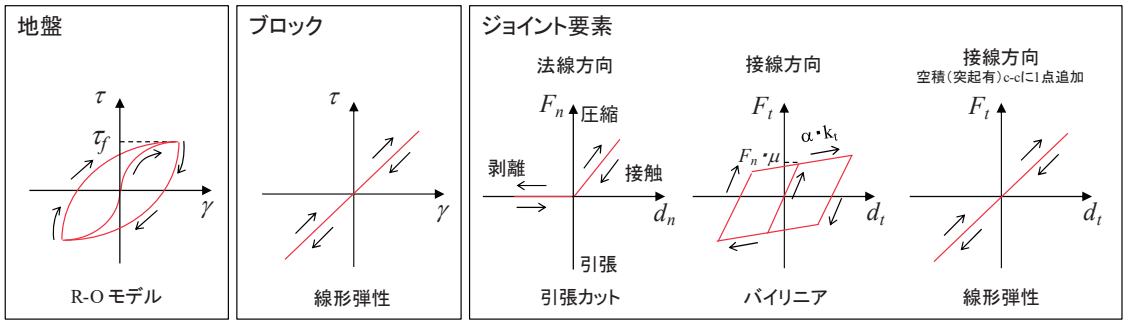
ンパーを用いた。



(a) モデル全体



(b) 擁壁周辺



(c) 構成則

図 4.10　解析モデル

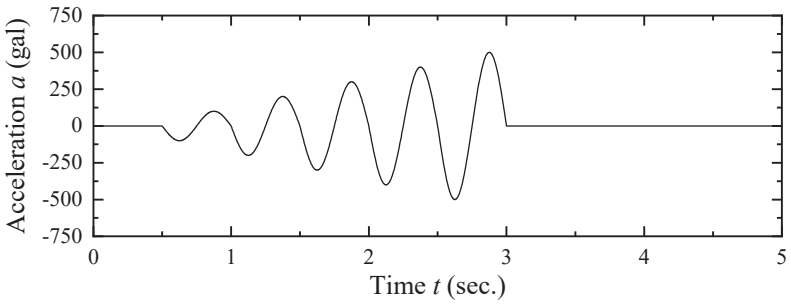


図 4.11　入力地震動

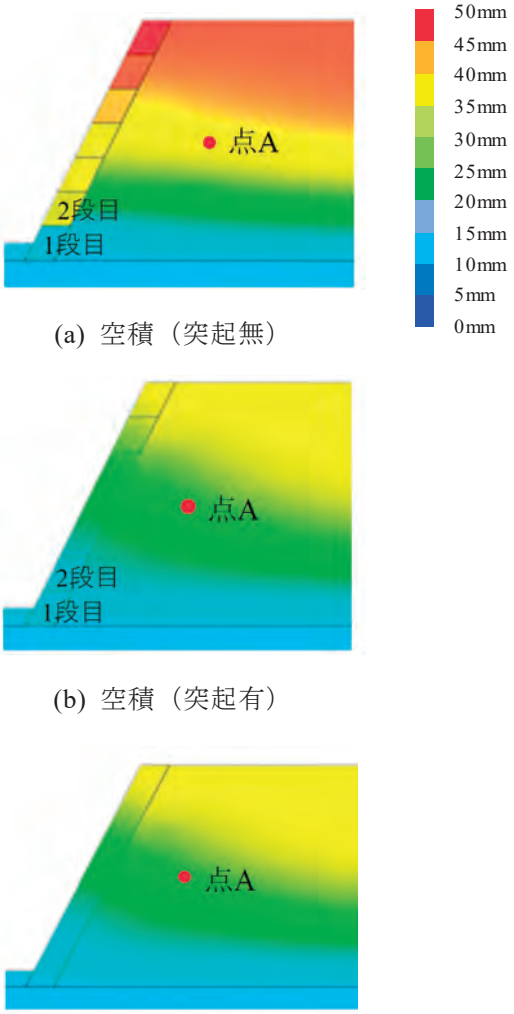
表 4.3　解析パラメータ

				背面地盤	基礎地盤	埋戻し土 (前面地盤)	ブロック	パラメータの出典
平面ひずみ要素	想定したN値	N	-	5	30	10	-	参考文献 2)
	構成則		-	修正 R-O	修正 R-O	修正 R-O	線形弾性	参考文献 37)
	単位体積重量	γ_t	kN/m^3	18	25	20	19	参考文献 2)
	粘着力	c	kN/m^2	0	5000	0	-	参考文献 2)
	せん断抵抗角	ϕ	deg.	25	35	35	-	参考文献 2)
	初期せん断弾性係数	G_0	kN/m^2	34,429	2,549,291	81,480	9,615,385	参考文献 38)
	ポアソン比	ν	-	0.37	0.3	0.3	0.3	
	基準ひずみ	γ_r	-	0.000853	0.001961	0.000043	-	参考文献 39)
	最大減衰定数	h_{max}	-	0.2	0.2	0.2	-	参考文献 39)
ジョイント要素	Joint s-c							
	軸剛性	k_n	kN/m^2	1.89×10^6	1.33×10^8	4.24×10^6	-	参考文献 40)
	せん断剛性	k_t	kN/m^2	1.00×10^6	1.00×10^6	1.00×10^6	-	
	摩擦係数	μ	-	0.222	0.315	0.315	-	参考文献 2)
	低減係数	α	-	0.0001	0.0001	0.0001	-	
	Joint c-b							
	軸剛性	k_n	kN/m^2	-	2.55×10^8	-	-	参考文献 40)
	せん断剛性	k_t	kN/m^2	-	1.00×10^6	-	-	
	低減係数	α	-	-	0.0001	-	-	
	Joint c-c							
	軸剛性	k_n	kN/m^2	-	-	-	5.00×10^8	参考文献 40)
	せん断剛性	k_t	kN/m^2	-	-	-	2.02×10^8	参考文献 2)
	摩擦係数	μ	-	-	-	-	0.5	参考文献 41)
	低減係数	α	-	-	-	-	0.0001	
	Joint c-c (突起)							
	軸剛性	k_n	kN/m^2	-	-	-	5.00×10^8	
	せん断剛性	k_t	kN/m^2	-	-	-	1.29×10^8	参考文献 42)

4.3.2. FEM 解析の結果

(1) 応答最大時の変位分布

図 4.12 には、最大応答時の変位分布を示す。空積（突起無）では、1、2 段目のブロック間のずれが卓越し、変状事例の損傷状況[36]と同様の傾向であった。また、空積（突起有）及び練積と比べて擁壁天端の変位が約 1.3 倍大きい。練積は、空積（突起無）とは異なり躯体の前傾が卓越した。なお、練積は地震応答中に擁壁躯体に発生した引張応力の最大値は、コンクリートの許容曲げ引張応力度（0.3 N/mm^2）[2]以下であった。空積（突起有）は、空積（突起無）と比べて全体的に変位が小さくなっており、練積に近い傾向を示した。



(a) 空積（突起無）

(b) 空積（突起有）

(c) 練積

図 4.12 応答最大時の変位分布（1 倍表示）

(2) 背面地盤のせん断ひずみγ－せん断応力τ

図 4.13 は、図 4.10 に示した点 A の位置の背面地盤のτ－γの履歴である。γの符号は擁壁前面側へのせん断変形を正とした。なお、図中の矢印は 500 cm/s^2 載荷時の正側及び負側のピークを示したものである。γ-τの履歴曲線は、空積（突起無）及び空積（突起有）ではひずみの正側にシフト（擁壁前面方向へ変位）しているのに対し、練積は負側にシフト（擁壁背面方向に変位）している。また、γの最大値は練積が 3.3 × 10^{-3}、空積（突起無）が 5.7×10^{-3}、空積（突起有）が 3.9×10^{-3} であり、練積に対して空積（突起無）は約 1.7 倍、空積（突起有）は約 1.2 倍のひずみが生じている。すなわち、練積の場合には擁壁躯体が背面地盤にもたれる方向への挙動が卓越する一方で、空積の場合には前面側への挙動、換言すると擁壁が不安定になる方向への挙動が卓越している。さらに、空積（突起有）の場合には突起によりブロック間のせん断力を伝達してずれを抑制しているものの、曲げモーメントが伝達できないため、擁壁としての土を留める機能は練積よりも劣っているものと考えられる。

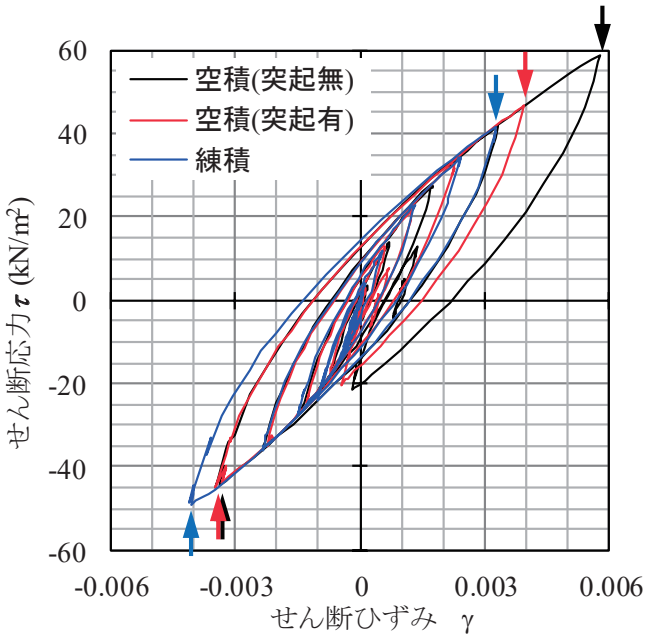
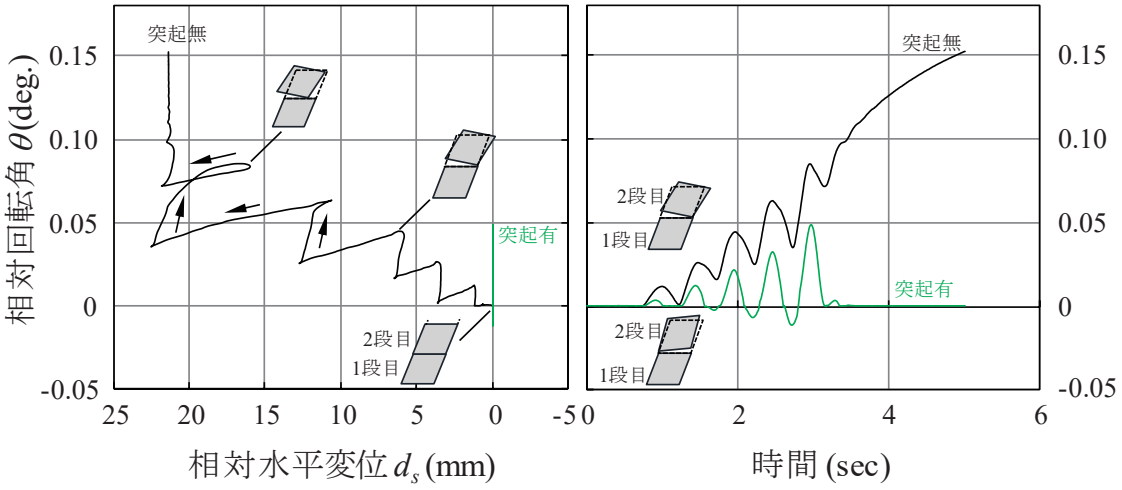


図 4.13　背面地盤（図 4.10 の点A）のτ－γ関係（図中の矢印は 500 cm/s^2 載荷時の正側及び負側のピーク）

(3) 空積のブロック間の挙動

図 4.14 に下から 1、2 段目のブロック間の相対回転角θ－相対水平変位 d_s 関係、θ の時刻歴を示す。空積（突起無）は、地震応答中にθ及び d_s が増減を繰り返す複雑な挙動を示している。空積（突起有）は、突起により d_s はほぼゼロであるが、図 4.14(b)によるとθは正負に交番し 2 段目のブロックがロッキングしている。応答中のほとんどの時間でθの値は、正すなわち 2 段目のブロックがかかとで立った状態が継続している。変状事例[36]においても、かかと立ちしたことが要因と疑われるブロックの損傷が確認されている。したがって、特に薄肉の板を組み合わせた構造等のブロックにおいては、ブロックがかかと立ちした状況の荷重条件で部材の安全性の照査が必要と考えられる。



(a)θ - d_s　　(b)θの時刻歴

図 4.14　1、2段目ブロック間の挙動

4.4. 本章のまとめ

本章では、大型ブロック積擁壁等の変状事例調査結果に基づき、類型化されたブロック間の一体性に関する変状形態に着目し、4.1 節では傾斜土槽模型実験により変状のメカニズムを調べるとともに FEM 解析を実施し、解析モデルの再現性を検証した。さらに、4.2 節ではブロックの単位体積重量及び控長を変数とした FEM 解析によるパラメトリックスタディから、擁壁躯体の変位モード及び変位量を評価した 4.3 節では、非線形動的 FEM 解析により地震時のブロックの応答を詳細に調べた。以下に、本章の範囲で得られた知見を示す。

4.1 節関連

1) 変状事例を想定した空積の大型ブロック積擁壁に関する傾斜土槽模型実験及び FEM によるシミュレーションの結果、1 段目と 2 段目のブロックの間でずれ（A-1 の変状形態）が生じた後に擁壁が崩壊した。ブロック間がずれる変状形態は擁壁の不安定化につながるものと考えられ、ブロック間の接合部には突起やかみ合わせにより擁壁としての一体性を十分に確保できる抵抗を付与する必要があるといえる。

4.2 節関連

2) FEM 解析によるパラメトリックスタディの結果によると、ブロック間が分割されている場合には水平力の載荷により躯体のはらみ出し（A-2 の形態の変状）が生じ、この傾向はブロックの単位体積重量及び控長が小さいほど顕著であった。
3) はらみ出しは、上下のブロック間が点で接触して相対的に回転した状態であり、特に、ブロックの控え材が薄い場合では A-3 の形態の損傷が生じ得ることから、はらみ出した状態のブロック間の荷重伝達を考慮して部材の安全性を確認しておくことが重要と考えられる。

4.3 節関連

4) 大型ブロック積擁壁の非線形動的 FEM 解析の結果によると、突起の無い空積の大型ブロック積擁壁は、地震応答中にブロック間でずれと相対的な回転を繰り返す複雑な挙動を示す。特に、1、2 段目のブロック間のずれが顕著であり、これは変状事例の損傷形態に対応する。
5) ブロックどうしの接合部にせん断力を伝達できる突起を設けることで背面地盤の変形量は小さくなる。ただし、ブロックどうしの接合部において曲げモーメントが伝達できないことから、練積に比べると背面地盤を支持する機能に劣る。
6) 突起があっても、ロッキングによりブロックがかかと立ち及びつま先立ちした状態となる。変状事例を踏まえると、かかと立ち等した状況の荷重条件でブロックの部材

の安全性照査を行う必要があると考えられる。

5. 練積のブロック積擁壁のブロックどうしの接合部の一体性評価手法の検討

本章では、練積の大型ブロック積擁壁等のブロックどうしの接合部に着目して、その一体性の評価手法を検討した。実物大のブロック積擁壁供試体の４点曲げ試験に基づき、まず、間知ブロックについて、ブロックの積み方（谷積及び布積）及び曲げモーメントの方向に応じたブロックどうしの接合部の破壊の特性について考察した。次いで、大型ブロック積擁壁について、躯体を梁部材として考えた場合に、ブロックの製造や擁壁の施工手順を考慮したうえで大型積みブロックの接合部において断面として見込めると考えられる範囲を提案した。また、控長を 35cm のまま大型化したブロック積擁壁について、胴込めコンクリートの確実な品質の確保を容易とするための、積みブロックの構造及び胴込めコンクリートの打設方法の考え方について検討した。

5.1. 間知ブロックを用いた擁壁躯体の破壊特性に関する載荷試験

本節では、ブロック積擁壁躯体の変状事例を概観し、そこでみられた変状形態の再現がなされるよう、控長 35 cm の間知ブロックを用いたブロック積擁壁躯体を対象に、ブロックの積み方（谷積、布積）及び曲げモーメントの方向を実験変数として、ブロック積擁壁供試体の４点曲げ試験を実施した。さらに、躯体の破壊メカニズムに基づいて、大型積みブロックを開発、選定するうえで留意すべきと考えられる事項を整理した。なお、本節の試験の実施に当っては、コンクリートの材料特性を用いて試験結果の妥当性を確認するため、胴込めコンクリートの打継ぎ面を作らないように試験体を製作した。そのため、得られた結果に関しては、構造上の弱点となりやすいコンクリートの打継ぎ面など施工条件や施工方法による躯体の状態が考慮されていないことに留意が必要である。

5.1.1. ブロックの積み方と擁壁躯体の変状形態

ここでは、ブロック積擁壁のブロックの積み方を示すとともに、間知ブロックを用いたブロック積擁壁躯体の変状形態を概観し、その特徴を整理する。

図 5.1 は、道路で使用する標準的なブロック積擁壁の構造を示したものである。ブロックの積み方は、胴込めコンクリートを用いた練積で水平方向の目地が直線とならない谷積とすることが原則とされている [2)]。図 5.2 には、ブロック積擁壁の変状事例を示した。(a)及び(b)はいずれも谷積、(c)は布積である。谷積は積みブロックの角を下にして積み上げるもので、このような積み方をすることにより水平方向にブロックの目地がそろわずに谷模様になることが特徴である。これに対し、布積は水平方向にブロックの目地をそろえて積み上げることが特徴である。図 5.2 の変状事例によると、谷積でも躯体に

生じるひび割れの形態が異なることが分かる。すなわち、図 5.2 (a)では目地に沿ってのこぎり状にひび割れが発生していることに対して、図 5.2 (b)ではブロックを貫いて直線状のひび割れが発生している。筆者らが調査した結果によると、このような変状形態の違いは、擁壁躯体に作用する曲げモーメントの方向によりもたらされるものと類推される。つまり、図 5.2 (a)では擁壁の前面側が引張、図 5.2(b)では擁壁の背面側が引張となる曲げモーメントによりそれぞれ擁壁躯体が損傷したものと考えられる。いずれの形態のひび割れが発生するかは、背面土圧の作用の仕方、擁壁の根入れによる基礎部の拘束の度合い等の条件により決まるものと考えられる。図 5.2 (c)は地震による布積の変状事例であるが、ブロックの目地に沿って一体性が損なわれてずれが生じている。ずれた部分を観察したところ、ブロックの控え部分の底面と胴込めコンクリートが部分的に密着していないようにも見られた。

本節では、図 5.2 に示した変状形態が再現されるよう、ブロックの積み方及び曲げモーメントの方向に着目し、ブロック積擁壁躯体の 4 点曲げ試験を実施した。

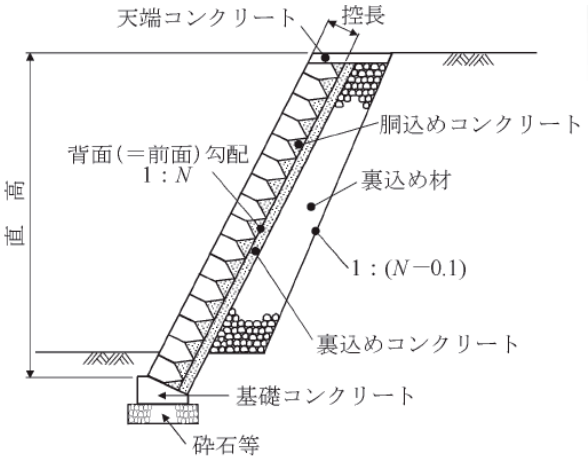


図 5.1　標準的なブロック積擁壁の構造 [2)]

(a)目地に沿ったひび割れ（谷積）（日本道路協会 道路土工構造物点検必携[35)]）

(b)ブロックを貫く直線状のひび割れ（谷積）

(c)目地に沿ったひび割れ（布積）（日本道路協会 道路土工構造物点検必携[35)]）

図 5.2　ブロック積擁壁躯体の変状事例

5.1.2. 載荷試験の方法

ここでは、製作した供試体、試験ケース、試験装置、載荷方法及び計測項目について述べる。

(1) 供試体及び試験ケース

表 5.1 は試験ケース、図 5.3 は供試体の平面図及び側面図である。供試体は、間知ブロックを谷積とした供試体（以下「間知ブロック（谷積）供試体」という。）、間知ブロックを布積とした供試体（以下「間知ブロック（布積）供試体」という。）及びベンチマークのためにブロックを使用せず胴込めコンクリートのみとした供試体（以下「無筋コンクリート供試体」という。）の 3 種類とした。供試体の形状は梁状であり、その寸法は断面高さ、すなわち控長を実物と同様の 350 mm とし、載荷装置の能力を踏まえて、断面幅 800 mm 及び長さ 2,000 mm を基本とした。ただし、間知ブロック（谷積）供試体はブロックの配置の都合上、断面幅を 813 mm とした。

間知ブロック供試体には、図 5.4 に示すとおり JIS A 5371 に基づく控長 350 mm の積みブロックを工場製作し、これを使用した。供試体の端部に設置する積みブロックのうち、規格品どおりの形状及び寸法では供試体の外形に適合しない場合には、事前にこれをコンクリートカッターで切断して適合させた。塗装合板により供試体の外形を組み立て、積みブロックの前面、すなわち擁壁躯体の前面側となる面を下向きにして積みブロックを設置した。その後、胴込めコンクリートを打設してバイブレータで締め固めた。擁壁工指針 [2)]では、胴込めコンクリートの設計基準強度は、18 N/mm^2 以上とされているが、道路のブロック積擁壁の胴込めとして使用されているコンクリートの実態を踏まえ、本実験では、胴込めコンクリートの呼び強度を 21 N/mm^2 とした。粗骨材の最大寸法は 20 mm とした。

載荷方向は、擁壁躯体の前面側が引張となる曲げモーメントを載荷する場合（以下「前面引張」という。）及び背面側が引張となる曲げモーメントを載荷する場合（以下「背面引張」という。）の 2 種類とした。背面引張とする場合には、載荷前に供試体を上下反転し、載荷装置に設置した。

試験の数量は、無筋コンクリート供試体は 1 体、その他のケースは、2 体ずつとした。

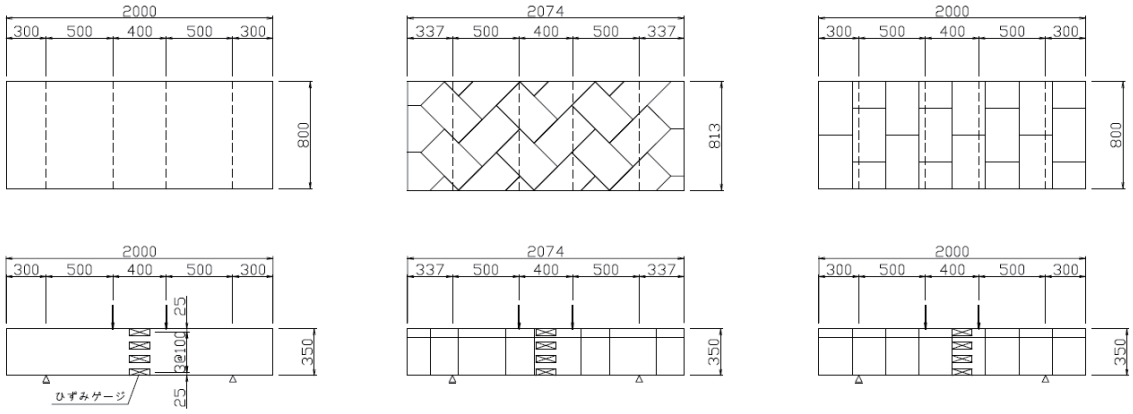
供試体の載荷日材齢において、積みブロック及び胴込めコンクリートの圧縮強度試験（JIS A 1108）、積みブロック及び胴込めコンクリートの割裂引張試験（JIS A 1113）並びに胴込めコンクリートの曲げ強度試験（JIS A 1106）を実施した。

表 5.1　試験ケース、コンクリートの材料強度及び最大曲げモーメント

ケース名	供試体	載荷方向	コンクリートの材料強度					梁供試体試験結果	
			圧縮強度 (N/mm^2)		割裂引張強度 (N/mm^2)		曲げ強度 (N/mm^2)	最大曲げモーメント M_{max}(kN*m)	曲げ応力 (N/mm^2) *3
			間知*1	胴込*2	間知*1	胴込*2	胴込*2		
無筋	無筋コンクリート	―		22.6	―	1.92	3.67	53.3	3.27
谷積-背面-1	間知ブロック（谷積）	背面引張	28.5	23.4	2.74	2.05	3.57	43.3	2.65
谷積-背面-2			27.8	27.7	3.66	1.91	3.04	45.2	2.77
谷積-前面-1		前面引張	28.5	23.4	2.74	2.05	3.57	30.7	1.88
谷積-前面-2			28.5	23.4	2.74	2.05	3.57	33.2	2.03
布積-背面-1	間知ブロック（布積）	背面引張	28.5	23.4	2.74	2.05	3.57	34.3	2.10
布積-背面-2			27.8	27.7	3.66	1.91	3.04	34.4	2.10
布積-前面-1		前面引張	28.5	23.4	2.74	2.05	3.57	19.3	1.18
布積-前面-2			27.8	27.7	3.66	1.91	3.04	21.1	1.29

*1:間知ブロック、*2:胴込めコンクリート、*3:全断面有効

（単位:mm）



(a) 無筋コンクリート供試体　(b) 間知ブロック（谷積）供試体　(c) 間知ブロック（布積）供試体

図 5.3　供試体（上段：平面図、下段：側面図）（背面引張の例）

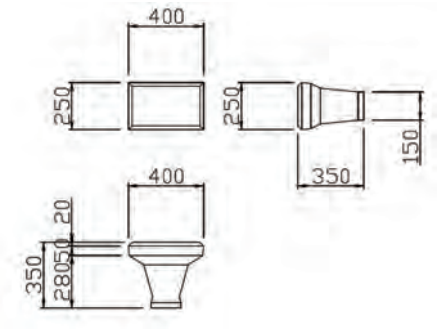


図 5.4　間知ブロック（単位:mm）

(2) 試験装置及び載荷方法

図 5.5 は実験のセットアップである。等曲げモーメント区間を 400 mm、せん断スパンを 500 mm とし、4 点曲げとした。等曲げモーメント区間の寸法は、間知ブロック（谷積）供試体の幅方向に連続する積みブロックの目地が、等曲げモーメント区間に収まるように設計した。鉛直荷重載荷点及び支点には丸鋼を設置した。油圧ジャッキにより鉛直荷重を載荷した。載荷プログラムは単調載荷として、供試体が破壊するまで静的に載荷した。

図 5.5　実験のセットアップ

(3) 計測方法

ロードセルにより載荷荷重を、変位計により載荷点変位をそれぞれ測定した。図 5.3 のように等曲げモーメント区間の中央付近で供試体側面にひずみゲージを 4 点設置し、曲げひずみを測定した。

供試体の破壊面の状況を 3D スキャナにより撮影するとともに、破壊面の状態に応じて胴込めコンクリートの材料破壊、ブロックの材料破壊、胴込めコンクリートーブロック界面破壊、及びブロックーブロック接触面の 4 つのモードに分類し、それぞれの面積を図化ソフト上で読み取った。ここで、材料破壊とは材料の内部で破壊した状態、界面破壊とは異なる材料間の界面で剥離した状態を意味する。

5.1.3. 載荷試験の結果

すべての試験において、等曲げモーメント区間内で曲げひび割れが発生し、供試体が脆性的に破壊した。載荷荷重－載荷点変位関係は線形的で、概ね 0.2 mm～0.25 mm の変位で破壊した。以下に、最大曲げモーメント、破壊面の状況、及び供試体側面のひずみについて示す。

(1) 最大曲げモーメント

図 5.6 には各ケースの最大曲げモーメントを示した。なお、前述のとおり供試体製作上の制約から、間知ブロック（谷積）供試体だけが梁幅が 813 mm であることから、間知ブロック（谷積）供試体の曲げモーメントは、梁幅 800 mm あたりの値に換算して示した。また、表 5.1 には最大曲げモーメントを用いて断面の高さを 350 mm とした場合の曲げ強度の一覧を示した。最大曲げモーメントは、ブロックの積み方及び載荷方向に対して差が認められた。すなわち、ブロックの積み方が異なるケースを比べると、布積は谷積よりも前面引張で 38%、背面引張で 22%小さかった。また、載荷方向が異なるケースを比べると前面引張は、背面引張よりも谷積で 28%、布積で 41%それぞれ小さかった。

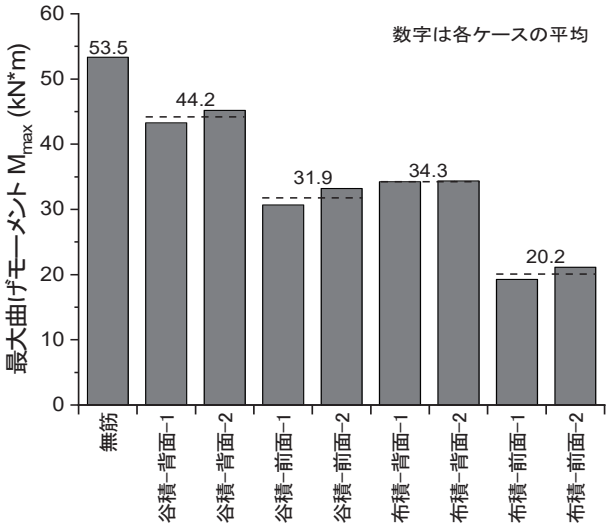
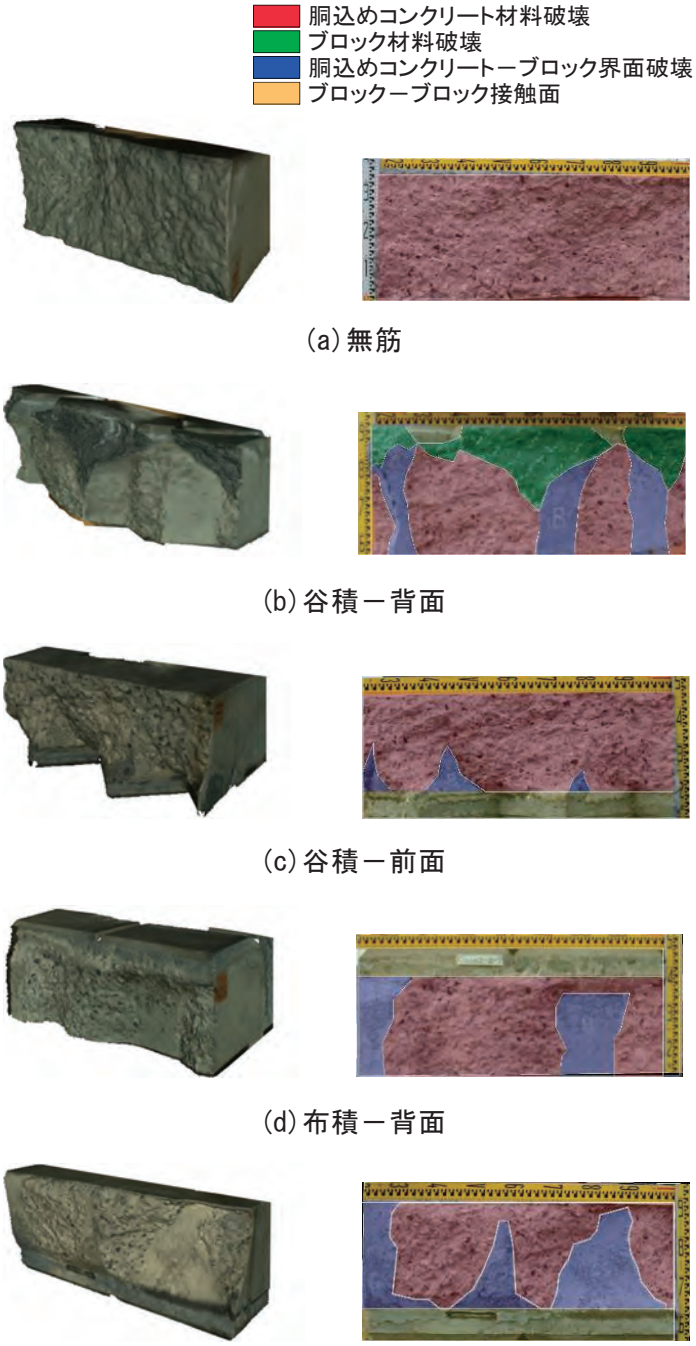


図 5.6　最大曲げモーメント

(2) 破壊面の状態

図 5.7 には、3D スキャナで撮影した画像及び破壊面の状態に応じて、4 つのモードに分類した結果を示した。図から明らかなごとく、ブロックの積み方及び載荷方向により破壊面の様相が異なる。まず谷積と布積を比べると、布積は破壊面が比較的平らであることに対し、谷積の破壊面は凹凸を有した複雑な形状である。載荷方向に着目すると、前面引張の場合には、谷積又は布積の別によらずブロックの目地に沿って破壊が発生している。一方で、背面引張の場合には、布積は目地に沿って破壊しているが、谷積はそのようではなくブロックの材料破壊が発生している。このような谷積の破壊形態は図 5.2 (a)及び(b)に示した変状事例と同様の傾向である。

図 5.8 は、図 5.7 で示した 4 つの破壊モードについて、破壊面上でのそれぞれの面積を図化ソフト上で読み取りその割合を示したものである。図 5.6 に示した最大曲げモーメントと対比すると、ブロックーブロック接触面の割合が小さいほど最大曲げモーメントが大きい傾向が認められる。前面引張の場合には、胴込めコンクリートーブロックの界面破壊の割合は、谷積が約 1 割に対して布積が約 3 割と布積の方が高く、これが布積の最大曲げモーメントが小さい原因の一つと考えられる。背面引張の場合には、布積ではブロックーブロック接触面の割合が 2 割程度である。これに対して谷積はブロックーブロック接触面はほぼゼロで、代わりにブロックの材料破壊が 2 割程度生じている。したがって、ブロックの目地がそろった積み方である布積は曲げに対して合理的でなく、そのような積み方を避けるか、耐力が小さくなることを考慮して評価することが必要と考えられる。



(a) 無筋

(b) 谷積ー背面

(c) 谷積ー前面

(d) 布積ー背面

(e) 布積ー前面

図 5.7　破壊面の状態（左：3D スキャナ、右：破壊モード）

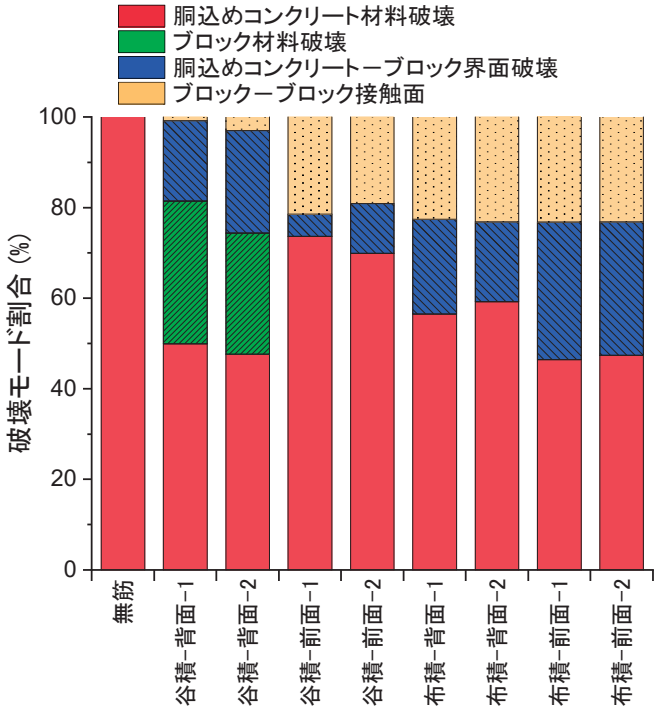
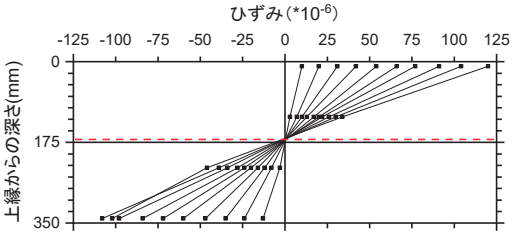


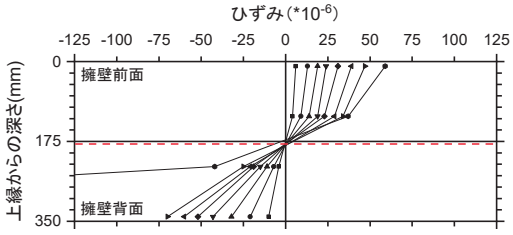
図 5.8　破壊モードの割合

(3) 供試体側面のひずみ分布

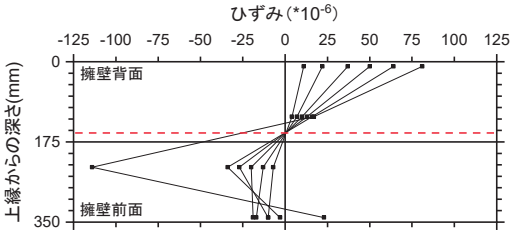
図 5.9 は、等曲げモーメント区間の高さ方向のひずみ分布を曲げモーメント 5 kN･m 毎に示したものである。なお、試験は各ケース２体ずつ実施しているが、ひずみの挙動は同様であったことから、ここでは各ケースについて１体の結果を示している。無筋コンクリート供試体はほぼ上下対称のひずみ分布を示した。一方で、間知ブロック供試体は、上下非対称のひずみ分布であった。背面引張の場合には、中立軸はほぼ断面の中心（上縁からの深さ 175 mm）にあるが、圧縮側すなわち擁壁前面側のひずみは中立軸からの距離に比例していない。一方で、前面引張の場合には中立軸位置が高く、引張縁付近のひずみはやや乱れているものの、その値は極めて小さい傾向にある。これらはブロックの目地の影響を受けているものと考えられる。目地によるブロックーブロック接触面は構造的な弱部となり、断面として十分に働いていない。つまり、引張側に目地がある場合には、目地部を含む断面で選択的に破壊が生じ、圧縮側に目地がある場合には、その不完全な接触の状態により、圧縮剛性の低下を引き起こしている。したがって、目地部を有する構造の断面性能を精緻に評価するためには、ブロックーブロック接触面を断面性能から控除する必要があると考えられる。



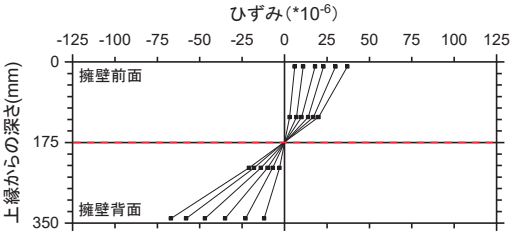
(a)無筋



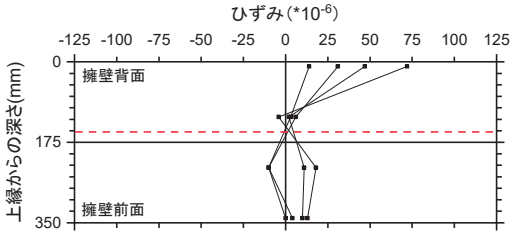
(b)谷積-背面



(c)谷積-前面



(d)布積-背面



(e)布積-前面

図 5.9　等曲げモーメント区間の供試体側面の高さ方向のひずみ分布（曲げモーメント 5kN･m 毎に表示）

5.1.4. 考察

前項で示した載荷試験の結果によると、谷積の方が布積よりも最大曲げモーメントが大きかった。経験的に谷積とすることが原則とされてきたことが、実験的に実証されたものと考えられる。ここでは、このような最大曲げモーメントの差をもたらすメカニズムを考察し、その結果に基づき大型ブロックを技術開発し、又は選定する上での留意点を整理する。

(1) ブロック積擁壁躯体の破壊メカニズム

図 5.7 に示したとおり、谷積－背面引張を除き、ブロックの目地が構造的な弱点となって供試体が破壊した。一方、谷積－背面引張は目地部では破壊が生じておらず、斜めにブロックを積むことで、目地が構造的な弱点となることを回避しているということにほかならないものと考えられる。

さらに、ブロックとブロックの接触面が構造的な弱部となり、図 5.9 の供試体側面のひずみ分布が示すように、目地が引張側にあると有効断面が減少し、前面引張の場合に最大曲げモーメントを小さくしたものと考えられる。目地が圧縮側にある場合には、圧縮側のひずみ分布が中立軸からの距離に比例していない。すなわち、圧縮側においても目地部は断面として考えることができるほどには接触していないといえる。

図 5.8 によると、布積－前面引張は谷積－前面引張よりもブロック－胴込めコンクリート間の界面破壊の割合が高い。ブロックの配置を踏まえると、布積はブロック－胴込めコンクリート間の界面が同一面上にあり、かつその面はブロックの目地に近い。これに対し、谷積はその界面が同一面上にないのである。これが前面引張の場合の谷積と布積の最大曲げモーメントの差の要因であると考えられる。

以上を整理すると表 5.2 のようである。

表 5.2　ブロック積擁壁躯体の破壊メカニズム

	前面引張	背面引張
谷積	a)ブロックの目地で選択的に破壊し、ブロックとブロックの接触面だけ有効断面が減少 b)目地付近において、ブロック控え部分と胴込めコンクリートの界面が同一面上にないため、胴込めコンクリートの材料破壊により抵抗	a)ブロックの目地部で破壊が生じず、ブロックの材料破壊により抵抗に寄与 c)ブロックとブロックの接触面で圧縮剛性が低下
布積	a)ブロックの目地で選択的に破壊し、ブロックとブロックの接触面だけ有効断面が減少 b)目地付近において、ブロック控え部分と胴込めコンクリートの界面が同一面上にあり、ここで界面破壊が卓越して断面耐力が低下	a)ブロックの目地で選択的に破壊し、ブロックとブロックの接触面だけ有効断面が減少 c)ブロックとブロックの接触面で圧縮剛性が低下

(2) 大型ブロック積擁壁の留意点

前述の考察の結果に基づき、大型ブロック積擁壁を開発し、又は選定する上で留意すべきと考えられる事項を整理する。

1) ブロックの構造

既存の大型ブロック積擁壁は、施工性を重視して開発されており、ブロックの大きさ、ブロックどうしの接合部の構造、使用する現場打ちコンクリートの量等が極めて多様[1)]だが、そのほとんどが布積である。したがって、ブロックの大きさ、接合部等の構造によっては目地が、構造的な弱点の 1 つになる場合があると考えられる。この弱点を克服することに限らず、ブロック間の結合を強固にするための方法としては、同一断面内にブロックの目地やブロックの控え材と胴込めコンクリートの界面を作らない、又は作ったとしても連続させないことなど、断面性能を有効に活用することが、重要であると考えられる。すなわち、扁平で単純な形状の底版を有するブロック等は、構造的にあまり合理的ではない可能性がある。

ブロック積擁壁は、実際には高さ方向にブロックを積層し、胴込めコンクリートを打設しながら施工する。ブロックと胴込めコンクリートが水平に近い面で接すると、胴込めコンクリートのブリージングにより、ブロックと胴込めコンクリートの間の付着を確保しづらい条件にあると考えられる。これは、図 5.2 (c)に示した布積の変状事例で、積みブロックの控え部分の底面と胴込めコンクリートの界面でコンクリートの打設不良が認められたことからも容易に想像できる。

2) ブロックの施工

ブロックの目地が揃う積み方の場合には、胴込め又は中詰めコンクリートの打設にも配慮する必要がある。コンクリートの打ち継ぎ面は、施工条件及び施工方法によっては構造的に弱点となる。したがって、ブロックの水平目地と胴込め又は中詰めコンクリートを打ち継ぎする面が、そろわないように配慮する必要がある。

5.2. ブロックどうしの接合部に関する載荷試験

本節では、大型ブロック積擁壁の躯体を梁部材として考えた場合に、大型積みブロックの接合部において、断面として見込める範囲を評価することを目的に、胴込めコンクリート打設時の大型積みブロックの姿勢（5 分勾配、水平）の違いによるブロックどうしの接触の状態に着目し、大型ブロック積擁壁躯体の曲げ試験を実施した。なお、本節の試験の実施に当っては、コンクリートの材料特性を用いて試験結果の妥当性を確認するため、胴込めコンクリートの打継ぎ面を作らないように試験体を製作した。そのため、得られた結果に関しては、構造上の弱点となりやすいコンクリートの打継ぎ面など施工条件や施工方法による躯体の状態が考慮されていないことに留意が必要である。

5.2.1. 載荷試験の方法

ここでは、製作した供試体、試験ケース、試験装置、載荷方法及び計測項目について示す。

(1) 供試体及び試験ケース

表 5.3 は試験ケース、図 5.10 は供試体の概要図である。供試体は、大型積みブロックを用いた供試体（以下「大型ブロック積擁壁供試体」という。）及びベンチマークのためにブロックを使用せず胴込めコンクリートのみとした供試体（以下「無筋コンクリート供試体」という。）の 2 種類とした。供試体の形状は梁状であり、その寸法は断面高さ、すなわち控長を実物と同様の 350 mm とし、載荷装置の能力を踏まえて断面幅 1,000 mm 及び長さ 2,000 mm とした。

大型積みブロックの模型は、図 5.11(a)に示すとおり JIS A 5371 附属書 D の形状例を参考に、控長が 350 mm で、5 分勾配としたときに水平積となる形状とした。一般的な大型積みブロックの製作工程を再現するために、図 5.11(b)のように鋼製型枠を使用して工場製作した。積みブロックは、ブロックどうしの接合面が型枠面となるように、擁壁の背面側をコテ均し面として打設した。

大型ブロック積擁壁供試体は、胴込めコンクリート打設時の大型積みブロックの姿勢を実験変数とした。すなわち、図 5.12 のように大型積みブロックの姿勢によって、ブロックどうしの接触の程度を制御することを意図している。5 分勾配の場合は、実際の施工を想定しており、ブロックの自重により接合部においていくらかの接触が想定される条件である。水平の場合は、接合部において自重による接触がない条件である。5 分勾配又は水平に大型積みブロックを設置した後、塗装合板により胴込めコンクリートの打設のための型枠として供試体の外形を組み立てた。その後、胴込めコンクリートを打設して、バイブレータで締め固めた。擁壁工指針 [2)]では胴込めコンクリートの設計基準強度

は 18 N/mm^2 以上とされているが、道路のブロック積擁壁の胴込めとして使用されているコンクリートの実態を踏まえ、本実験では、胴込めコンクリートの呼び強度を 21 とした。粗骨材の最大寸法は、20 mm とした。

試験の数量は、無筋コンクリート供試体は 1 体、その他のケースは 2 体ずつとした。

供試体の載荷日材齢において、大型積みブロック及び胴込めコンクリートの圧縮強度試験（JIS A 1108）及び曲げ強度試験（JIS A 1106）を実施した。

表 5.3　試験ケース、コンクリートの材料強度及び最大曲げモーメント

供試体		胴込め Co 打設姿勢	コンクリートの材料試験結果						梁供試体試験結果	
			圧縮強度 (N/mm^2)		曲げ強度 (N/mm^2)		弾性係数 (*10^{4}N/mm^2)		M_{cr}*3 (kN・m)	σ_{cr}*4 (N/mm^2)
			ブロック*1	胴 Co*2	ブロック*1	胴 Co*2	ブロック*1	胴 Co*2		
O-H-1	無筋コンクリート	水平	－	28.1	－	4.19	－	2.08	54.6	2.67
B-V-1	大型ブロック	5 分	31.2	28.9	NA	NA	2.38	2.26	38.3	1.88
B-V-2	積擁壁供試体	勾配	31.9	29.8	4.86	3.61	2.29	2.19	38.7	1.89
B-H-1	大型ブロック	水平	31.2	28.9	NA	NA	2.38	2.26	39.1	1.91
B-H-2	積擁壁供試体		31.9	29.8	4.86	3.61	2.29	2.19	42.0	2.06

*1:大型積みブロック、*2:胴込めコンクリート、*3:ひび割れ曲げモーメント、*4:M_{cr} 時の曲げ応力で、全断面有効として算出（幅 1,000mm, 高さ 350mm）

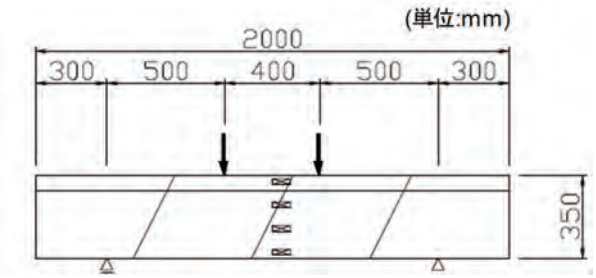
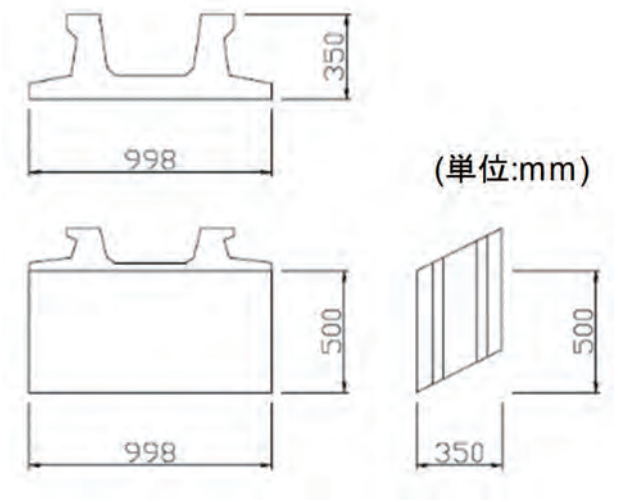


図 5.10　供試体

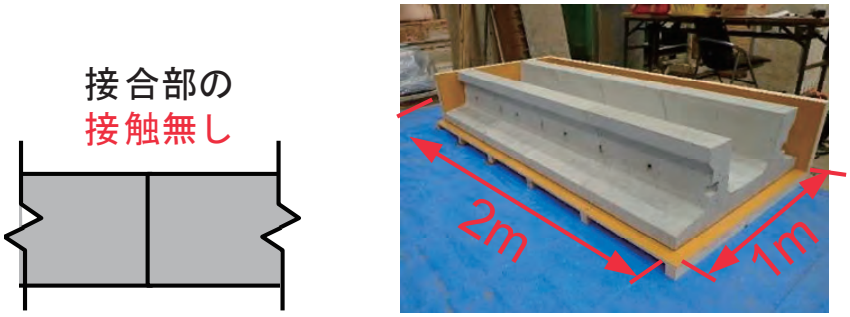


(a) 構造図

(b) 製作状況（鋼製型枠を使用）

図 5.11　大型積みブロック

(a) 5分勾配



(b) 水平

図 5.12 供試体の製作方法

(2) 試験装置及び載荷方法

図 5.13 は実験のセットアップである。図 5.10 に示したように等曲げモーメント区間を 400 mm、せん断スパンを 500 mm とした 4 点曲げとした。等曲げモーメント区間の寸法は、接合部が等曲げモーメント区間に収まるように設計した。鉛直荷重載荷点及び支点には、丸鋼を設置した。油圧ジャッキにより鉛直荷重を載荷した。載荷プログラムは、単調載荷として供試体が破壊するまで静的に載荷した。

載荷方向は、擁壁の背面側が引張となる曲げモーメントが載荷されるようにした。

図 5.13　実験のセットアップ

(3) 計測方法

ロードセルにより載荷荷重を、変位計により載荷点変位をそれぞれ測定した。図 5.10 のように等曲げモーメント区間の中央付近の供試体側面にひずみゲージを 4 点設置し、曲げひずみを測定した。

5.2.2.　載荷試験の結果

すべての試験において、等曲げモーメント区間内の接合部において曲げひび割れが発生し、供試体が脆性的に破壊した。載荷荷重－載荷点変位関係は線形的で、概ね 0.2 mm～0.25 mm の変位で破壊した。図 5.14 には、試験で得られたひび割れ曲げモーメント M_{cr} を示す。ここで使用した供試体は無筋構造であることから、試験における最大曲げモーメントをひび割れ曲げモーメントとして扱っている。また、表 5.3 にはこのひび割れ曲げモーメント M_{cr} を用いて、断面の高さを 350 mm とした場合の曲げ強度の一覧を示した。図 5.14 によると、大型ブロック積擁壁供試体において供試体の製作の方法を水平及び 5 分勾配としても、有意な差は認められないようである。

図 5.15 は、5 分勾配のケースにおける供試体の前面側、すなわち載荷試験において、圧縮側となる面における接合部の様子を示したものである。供試体を観察したところブロックの接合面には隙間があり、明らかに密着していないようであった。

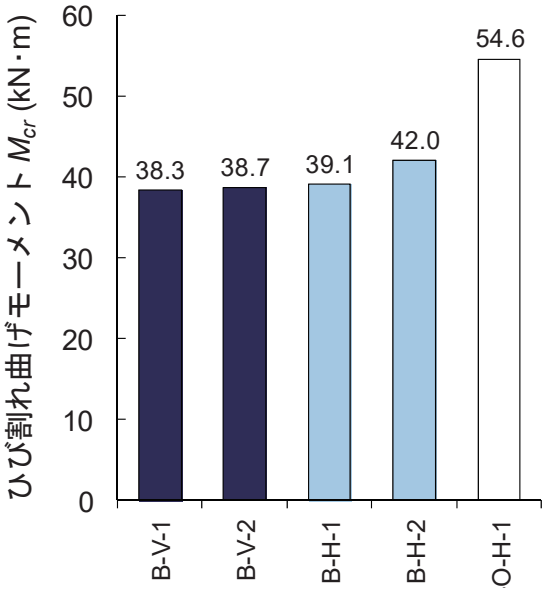


図 5.14　ひび割れ曲げモーメント M_{cr}

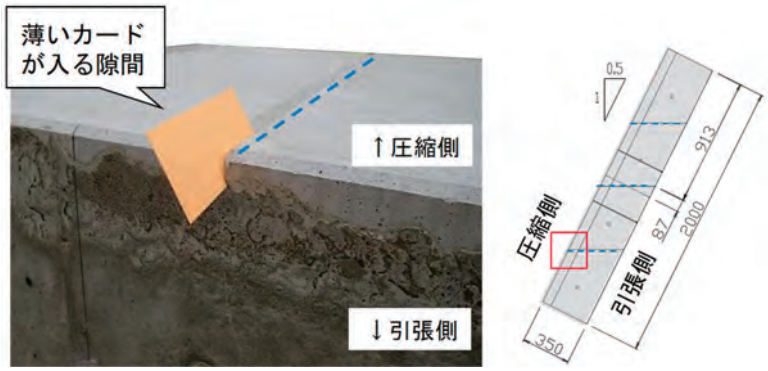


図 5.15　ブロックの合端の状態

5.2.3.　考察

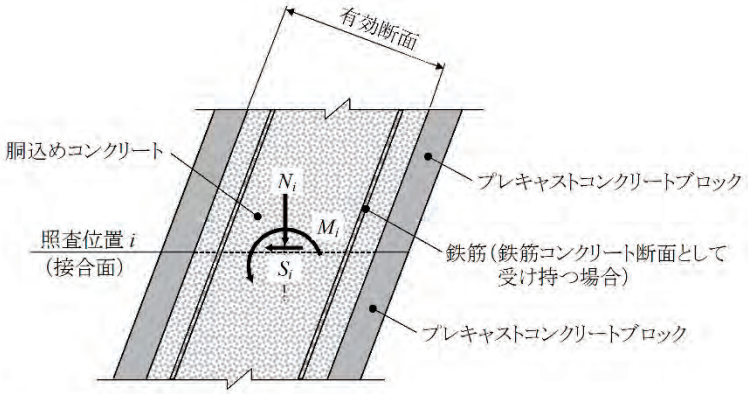
載荷試験の結果、大型ブロック積擁壁供試体はいずれも接合部で破壊した。最大曲げモーメント、すなわちひび割れ曲げモーメントは、胴込めコンクリート打設時の大型積みブロックの姿勢によらず同程度であった。供試体を観察したところ、5 分勾配で製作した供試体においてブロックの接合面には隙間が認められた。ブロックどうしは明らかに接触しておらず、これはひび割れ曲げモーメントが同程度であった要因と考えられる。本試験では、大型積みブロック模型は一般的な大型積みブロックの製作工程を再現するために鋼製型枠を使用して製作した。しかしながら、そのような製作方法によったとし

てもブロックの製作精度、ブロック据付け時の施工精度、据付け時のブロックの重心等の影響により、断面として有効に機能するほどには、接合部は均一かつ確実に接触していないと考えられる。

大型ブロック積擁壁等のコンクリートブロックを接合する構造の擁壁は、ブロックが接合後に一体で挙動する梁部材としてみなせるように、接合部に生じる断面力に対し構造上必要な強度を確保することが求められる。そのために、ブロックの接合面において擁壁を梁部材と考えて部材の安全性の照査を行うが、載荷試験の結果を踏まえると、安全側に評価するためには、有効断面を図 5.16 のように胴込めコンクリートのみを考慮するのが妥当と考えられる。すなわち、

1) 曲げモーメント及び軸方向力の作用に対しては、接合部において胴込めコンクリートのみを用いる場合には、胴込めコンクリートを有効断面とする無筋コンクリート断面として、また、胴込めコンクリート及び鉄筋を用いる場合には、胴込めコンクリートを有効断面とする鉄筋コンクリート断面として受け持つものと考える。
2) せん断力の作用に対しては、接合面における胴込めコンクリートが、受け持つものと考え、接合面のコンクリートブロックどうしの摩擦による分担は、期待しない。

なお、コンクリートブロックを断面に見込む場合には、接合部をマッチキャスト等のコンクリートブロックどうしが確実に一体化される構造としたうえで、実験等により接合面において、ブロックが部材断面として有効に機能することを確認しておくのが良いと考えられる。



N_i ：照査位置 i における軸方向力（kN）
M_i ：照査位置 i における有効断面中心における曲げモーメント（kN･m）
S_i ：照査位置 i におけるせん断力（kN）

図 5.16　接合部の照査（接合方法に胴込めコンクリート及び鉄筋を用いた場合の例）

5.3. タイプ 1-②の施工品質を確保するための方法

3.2 節の変状傾向の統計分析によれば、練積という条件の限りにおいては、間知ブロックを谷積にした場合と控長を 35cm のまま大型化したブロックを布積にした場合において、両者の変状傾向に有意な差は認められず、したがってブロック積擁壁の躯体の一体性を確保するためには、適切に胴込めコンクリートが配されていることが重要であると考えられる。

本節では、ブロック積工の標準的な手順と控長を 35cm のまま大型化したブロックの製品実態を踏まえて、胴込めコンクリートの確実な品質の確保を容易とするため、積みブロックの構造及び胴込めコンクリートの打設方法について検討した。

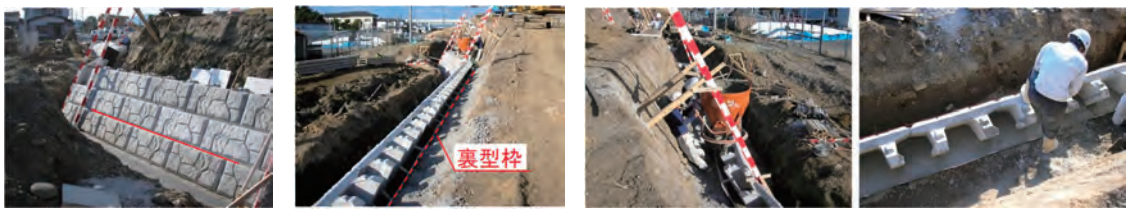
5.3.1. タイプ 1-①及びタイプ 1-②の積みブロックの構造と施工手順

ブロック積工の施工手順については、間知ブロックを谷積にする場合と控長を 35cm のまま大型化したブロックを布積にする場合において、大まかには両者は同様であり、ブロック据付け、裏型枠設置、胴込めコンクリート打設・締固めの順に実施される（図 5.17）。

間知ブロックを谷積とする場合には、その積み方の複雑さから施工には熟練した技術が必要となることが多い。つまり、熟練技術者を配した体制で施工することで、ブロック積擁壁の施工品質が確保されているということである。対して、控長を 35cm のまま大型化したブロックを布積にする場合には、間知ブロックを谷積とする場合に比べてブロックの構造によって施工性が大幅に改善されているため、熟練した技術がなくても施工できることが多い。すなわち、間知ブロックよりもブロック積擁壁の施工品質が確保しやすいということである。

①積みブロック据付け　②裏型枠設置　③胴込めコンクリート打設・締固め

(a) 間知ブロックを谷積にする場合



①積みブロック据付け　②裏型枠設置　③胴込めコンクリート打設・締固め

(b) 控長を 35cm のまま大型化したブロックを布積にする場合

図 5.17　ブロック積工の標準的な手順

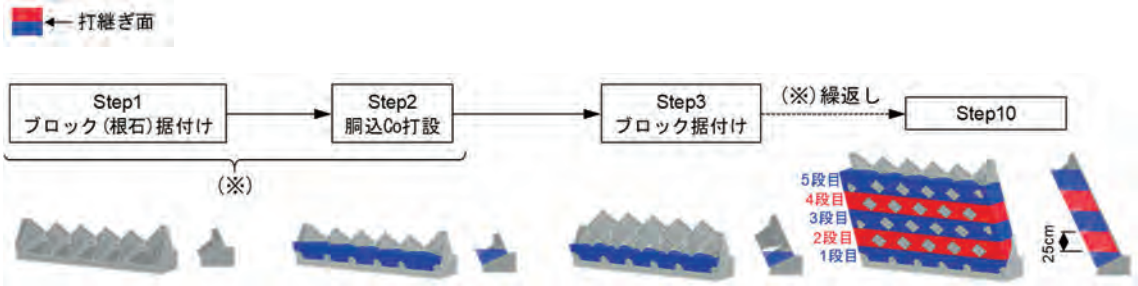
図 5.18 は、ブロック積工における胴込コンクリートの施工手順の例を示したものである。2.2 節で実施した積みブロック製品の実態調査結果によれば、控長を 35cm のまま大型化したブロックを布積にした構造は、間知ブロックを谷積にした構造と比較して、胴込めコンクリートの施工品質の確保の観点からは、一般に次のような特徴を有していた。

① ブロック 1 つの直高が高い。これにより、胴込めコンクリートのリフト高が高く、打継ぎ面*の数が少ない。

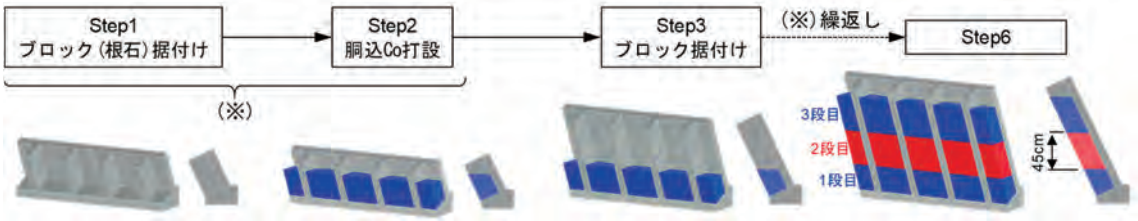
② 胴込め部分の形状が単純である。これにより、胴込めコンクリートを締め固めやすく、充填不足を回避しやすいと考えられる。

したがって、このような特徴を有する積みブロックを使用することによって、胴込めコンクリートの確実な品質の確保が容易となると考えられる。なお、図 5.18 には、胴込めコンクリートのリフト高を示しているが、これは、製品実態調査結果に基づいた積みブロック 1 つの直高の中央値を参考にしたものである。

* ″打継ぎ″は、硬化したコンクリートに接して新たにコンクリートを打込むこと。これに対して″打重ね″は、先に打設した硬化途中のコンクリートに新しいコンクリートを打込むことを指す用語である。



(a) 間知ブロックを谷積にする場合



(b) 控長を 35cm のまま大型化したブロックを布積にする場合

図 5.18　胴込めコンクリートの施工手順

5.3.2. 考察

擁壁工指針[2)]では、″積みブロックの控長を 35cm のまま大型化したブロック積擁壁″の積みブロックの積み方は、「原則として胴込めコンクリートを設ける練積で、水平方向の目地が直線とならない谷積等」とすることとされている。これは、通常のブロック積(石積)擁壁の経験に基づいて定められたものと考えられる。

一方で、3.2 節に示したとおり、最近の地震による被災事例を統計的に分析した結果によると、練積という条件の限りにおいては、間知ブロックを谷積にした場合と、控長を 35cm のまま大型化したブロックを布積にした場合において、両者の変状傾向に有意な差は認められなかった。タイプ 1-②については、2.2.2 項(3)に示したとおり積みブロックと胴込めコンクリートの一体性の確保のためにシェアホール、返し、背面板等が設けられている。さらに、タイプ 1-②の市場製品においては、2.2.2 項(3)のようにタイプ 1-①と同程度の量の胴込めコンクリートが用いられている。このような構造とすることによって、タイプ 1-①と同等以上の積みブロックどうしの一体性が確保されていたものと考えられる。つまり、ブロック積擁壁の躯体の一体性を確保するためには、ブロックが胴込めコンクリートと一体化しやすい形状であることのほか、適切に胴込めコンクリートが配されていることが重要であり、したがって、控長を 35cm のまま大型化したブロックを布積にする場合においても、間知ブロックを谷積とした場合と同等の″量と品質″の胴込めコンクリートが求められる。また、胴込めコンクリートの確実な品質の確保を容易とするために、積みブロックの構造及び胴込めコンクリートの打設方法は、次のような考え方によって行うのがよいと考えられる。

i)胴込めコンクリートの充填不足のおそれの少ない形状の積みブロックを使用する（図 5.19)。

ii)積みブロックどうしの接合部と胴込めコンクリートの打継ぎ面の高さがそろわないようにする（図 5.20)。

i)については、開口部が大きくかつ胴込め部の空間の形状が単純な積みブロックを使用することで、胴込めコンクリートの充填不足の回避が容易となると考えられる。ii)については、ブロックどうしの接合部の位置を考慮して胴込めコンクリート打継ぎ面の高さを適切に管理すれば、打継ぎ面の影響が低減され、確実な施工品質を確保することができると考えられる。

以上のことを、擁壁工指針の「解表 5-6 ブロック積擁壁の分類と設計方法」において表せば表 5.4 のようになると考えられる。

なお、本節の内容は、3.2 節の変状実態調査の結果に基づき、また 2.2 節の製品実態で示したような市場製品相当の構造の積みブロックが使用されることを念頭においたうえ

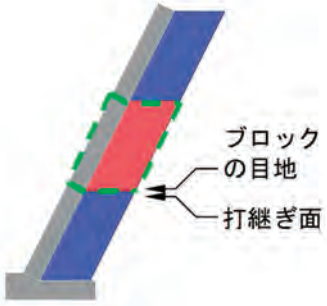
で最低限留意すべき事項を示したものであり、個別製品の適用にあたっては、2.2 節や 3.2 節についても参考にし、判断する必要がある。

また、間知ブロックを布積とした通常のブロック積擁壁については、3.2 節の検討において対象としていないことに留意する必要がある。

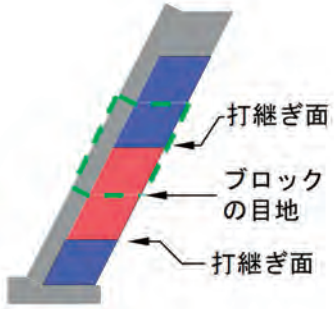
(a)間知ブロックを谷積としたブロック積擁壁

(b)控長を 35cm のまま大型化したブロックを布積としたブロック積擁壁（例として π 型を示している）

図 5.19　胴込めコンクリートの形状



(a)積みブロックどうしの接合部と胴込めコンクリートの打継ぎ面が、一致している（×）



(b)積みブロックどうしの接合部と胴込めコンクリートの打継ぎ面が、一致しないようにする（○）

図 5.20　ブロックどうしの目地と打継ぎ面の関係

表 5.4　ブロック積擁壁の分類と設計方法（道路土工－擁壁工指針解表 5-6 に緑字部分を加筆）

<table>
<tr><th>項目
形式</th><th>ブロック間の結合構造や製品寸法によるブロック積擁壁の分類</th><th>構造特性</th><th>設計方法</th></tr>
<tr><td rowspan="2">通常のブロック積擁壁</td><td>通常のブロック積(石積)擁壁</td><td rowspan="2">・原則として胴込めコンクリートを設ける練積で、水平方向の目地が直線とならない谷積等で積み上げる形式
・布積とする場合には、胴込めコンクリートの確実な品質の確保を容易とするために i)及び ii)に留意した構造とする。
i)胴込めコンクリートの充填不足のおそれの少ない形状のブロックを使用する
ⅱ)ブロックどうしの接合部と胴込めコンクリートの打継ぎ面の高さがそろわないようにする</td><td rowspan="2">・表 5-3 を用いた「経験に基づく設計法」による。</td></tr>
<tr><td>積みブロックの控長を 35cm のまま大型化したブロック積擁壁</td></tr>
<tr><td rowspan="2">大型ブロック積擁壁</td><td>通常のブロック積擁壁(石積)擁壁に準じた構造の大型ブロック積擁壁</td><td rowspan="2">(略)</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>もたれ式擁壁に準じた構造の大型ブロック積擁壁</td></tr>
</table>

5.4. 本章のまとめ

本章では、大型ブロック積擁壁の積みブロックの積み方及びブロックどうしの接合部の構造に応じた一体性の評価手法を確立する上での基礎資料を得るために、控長 35 cm のブロック積擁壁供試体の 4 点曲げ試験を実施した。5.1 節では、間知ブロックを用いて谷積及び布積とした供試体の基本的な破壊特性を調べた。さらに 5.2 節では、大型ブロック積擁壁の躯体を梁部材として考えた場合に、ブロックどうしの接合部において断面として見込める範囲を評価した。5.3 節では、控長を 35cm のまま大型化したブロック積擁壁について、胴込めコンクリートの確実な品質の確保を容易とするために、積みブロックの構造及び胴込めコンクリートの打設方法の考え方について検討した。以下に、本章の範囲で得られた知見を以下に示す。

<u>5.1 節関連</u>

1) 間知ブロックを用いた供試体の載荷試験の結果によると、最大曲げモーメントはブロックの積み方及び曲げモーメントの方向によって異なり、布積は谷積よりも前面引張で約 4 割、背面引張で約 2 割小さかった。また、前面引張は背面引張よりも谷積で約 3 割、布積で約 4 割小さかった。
2) 擁壁前面側が引張となる場合には、ブロックの積み方によらずブロックの目地部が構造的な弱点となり、選択的に目地部を含んで破壊が生じる。また、ブロックとブロックの接触面は断面として有効に機能しない。さらに、布積はブロックの控え部分の底面と胴込めコンクリートの界面が隣り合うブロックどうしでそろっているため、ここで界面破壊が卓越して谷積よりも曲げ耐力が低下する。
3) 擁壁背面側が引張となる場合には、布積は選択的に目地部で破壊が生じる。対照的に、谷積はブロックの目地部での破壊が避けられ、代わりにブロックの材料破壊が生じ、これにより曲げ耐力の低下が緩和される。
4) 以上の結果を踏まえて、ブロックの構造及びブロックの施工の観点から、大型ブロック積擁壁の留意点を整理した。

<u>5.2 節関連</u>

5) 大型ブロック積擁壁を想定した供試体の載荷試験の結果によると、大型ブロック積擁壁は、胴込めコンクリート打設時の大型積みブロックの姿勢（水平、5 分勾配）によらず、いずれもブロックどうしの接合面で破壊し、ひび割れ曲げモーメントは同程度であった。
6) 接合部を目視観察したところ、5 分勾配で製作した供試体において、ブロックの接合

面には隙間が認められた。鋼製型枠を使用して大型積みブロック模型を製作したとしても、ブロックの製作精度、ブロック据付け時の施工精度、据付け時のブロックの重心等の影響により、断面として有効に機能するほどには、接合部が均一かつ確実に接触することは期待しがたい。

7) 壁を梁部材と考えた場合のブロックの接合面における部材の安全性の照査では、胴込めコンクリートのみを有効断面として考慮するのが妥当と考えられる。

5.3 節関連

8) ブロック積工の標準的な手順及び積みブロックの製品実態を踏まえれば、胴込めコンクリートの確実な品質の確保を容易とするために、i)胴込めコンクリートの充填不足のおそれの少ない形状の積みブロックを使用する、ii)積みブロックどうしの接合部と胴込めコンクリートの打継ぎ面の高さがそろわないようにするのが良いと考えられる。

6. ブロック積擁壁の安定に対する抵抗機構の評価

本章では、ブロック積擁壁の安定に関する抵抗機構に着目する。擁壁工指針 [2)]によれば、大型ブロック積擁壁はブロック間の結合構造等に応じて、通常のブロック積(石積)擁壁に準じた構造の大型ブロック積擁壁と、もたれ式擁壁に準じた構造の大型ブロック積擁壁に区分されているが、いずれの場合にもその抵抗機構は背面地盤にもたれかかって安定を確保するものである。設計 [2)]では、擁壁が背面地盤にもたれる挙動を、擁壁の底面幅、壁面勾配等の条件に応じて定めた背面地盤からの反力を作用させることで考慮し、滑動、転倒及び支持に対する安定の照査を行うこととしている。ただし、大規模な地震動において背面地盤にもたれかかる挙動や、これと擁壁の安定への影響は必ずしも明らかではない。これらを明らかにしていくことは、今後、道路土工構造物の信頼性を高めていく上では極めて重要である。以下では、背面地盤にもたれかかって安定する抵抗機構に着目し、20 分の 1 スケールのもたれ式擁壁模型(以後「擁壁模型」という)を用いて、動的遠心模型実験を行った。特に、背面地盤から擁壁に作用する土圧と地盤反力に着目し、地震応答中のこれらの挙動を調べた。

6.1. 現行におけるもたれ式擁壁の設計の考え方

擁壁工指針 [2)]におけるもたれ式擁壁の設計の考え方について概説する。もたれ式擁壁は、底面地盤が良好で擁壁背面が比較的安定した地山等に適用されることが多く、擁壁本体が背面地盤にもたれた状態で土圧に抵抗する構造形式である。現行の設計では、もたれ式擁壁を底面地盤及び背面地盤に支持された構造体として考え、擁壁が背面地盤にもたれる挙動を図 6.1 に示すように擁壁の底面幅、壁面勾配等の条件に応じて定めた背面地盤の地盤反力を作用させることで考慮することにより（この荷重モデルを「簡便法」という）、擁壁自体の安定性の照査を行っている。簡便法における擁壁自体の安定性の照査では、常時及び地震時の荷重に対し、滑動及び支持に対しては所定の安全率を確保していることを照査し、転倒に対しては荷重の合力作用位置が擁壁底面の所定の範囲内にあることを照査している。滑動、転倒及び支持に対する安定の照査方法を表 6.1 に示す。

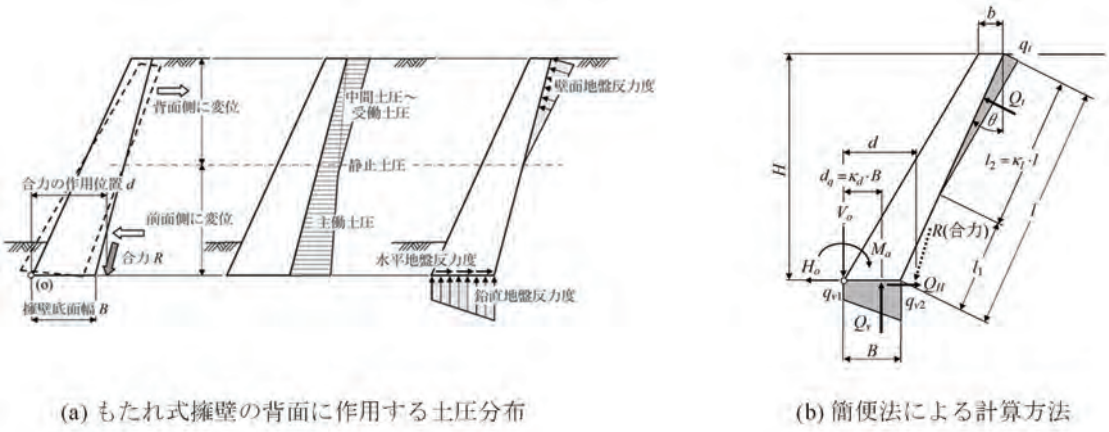


図 6.1　もたれ式擁壁における設計の考え方（日本道路協会 道路土工－擁壁工指針 [2)]）

表 6.1　滑動、転倒及び支持に対する安定の照査方法

照査項目	照査方法	制限値	
		もたれ式擁壁	自立式擁壁
滑動	擁壁底面に作用する滑動力及び滑動に対する抵抗力を比較し、所定の安全率を有することを照査する。	常時：1.5 地震時：1.2	常時：1.5 地震時：1.2
転倒	擁壁底面に作用する荷重の合力作用位置が、擁壁底面の所定の範囲内にあることを照査する。	常時：$d > B/2$ 地震時：$d > B/3$ B：擁壁の底面幅 d：擁壁底面の中央から荷重の合力作用位置までの距離	常時：$\lvert e \rvert \leq 1/6$ 地震時：$\lvert e \rvert \leq 1/3$ e：擁壁底面の中央から荷重の合力作用位置までの偏心距離 $(=B/2-d)$
支持	擁壁底面における鉛直地盤反力度及び底面地盤の許容鉛直支持力度を比較し、所定の安全率を有することを照査する。	常時：3.0 地震時 2.0	常時：3.0 地震時 2.0

6.2. 動的遠心模型実験の方法

6.2.1. 実験装置及び模型

実験装置及び擁壁模型を図 6.2 に示す。遠心力載荷試験装置は、(国研)土木研究所が所有するものを使用し、20G の遠心力場において実大換算で幅 30 m、高さ 10 m、奥行き 6 m の剛土槽内部に擁壁模型を設置した。以下、特に断りがない限り寸法値及び計測値については実物大換算値を用いる。

擁壁模型の形状及び寸法は、擁壁工指針 [2)]を参考にし、通常のブロック積擁壁に準じた構造の大型ブロック積擁壁の適用条件の中でも、壁高が最も高い条件である壁高 7.0 m、背面勾配 1:0.4、控長 1.0 m とした。

擁壁模型はモルタル製で、単位体積重量が 23.0 kN/m^3 となるように配合を設計した。また、本実験では擁壁の部材破壊には着目していないことから、高強度のモルタル（圧縮強度約 70 N/mm^2）を使用した。擁壁模型は土槽の奥行き方向に 3 等分割し、そのうちの中央に図 6.2 に示す計測器を配置した。

底面地盤は、もたれ式擁壁が比較的安定した地山等への適用が多いことから、良好な地盤条件を想定し、石膏で作製した。また、擁壁底面には擁壁底面の地盤反力度を把握するために、3 つの鉛直ロードセルを配置し、その上に基礎プレート(SS400)を設置した（図 6.3）。擁壁底面及び基礎プレートとの間で一定の摩擦抵抗が得られるよう、それぞれの表面にサンドペーパ(＃600)を貼り付けた。

背面地盤には、実験結果の解釈の容易さから気乾状態の東北珪砂 7 号を使用し、相対密度で 80%程度となるように締固め法で作製した（図 6.4）。表 6.2 には、使用した材料の物理特性及び強度特性を示す。表 6.2 に示す背面地盤の強度定数は、拘束圧を負圧で与え、50、100、200 kN/m^2 に設定した排水・排気条件の三軸圧縮試験(CD 試験)により求めた。

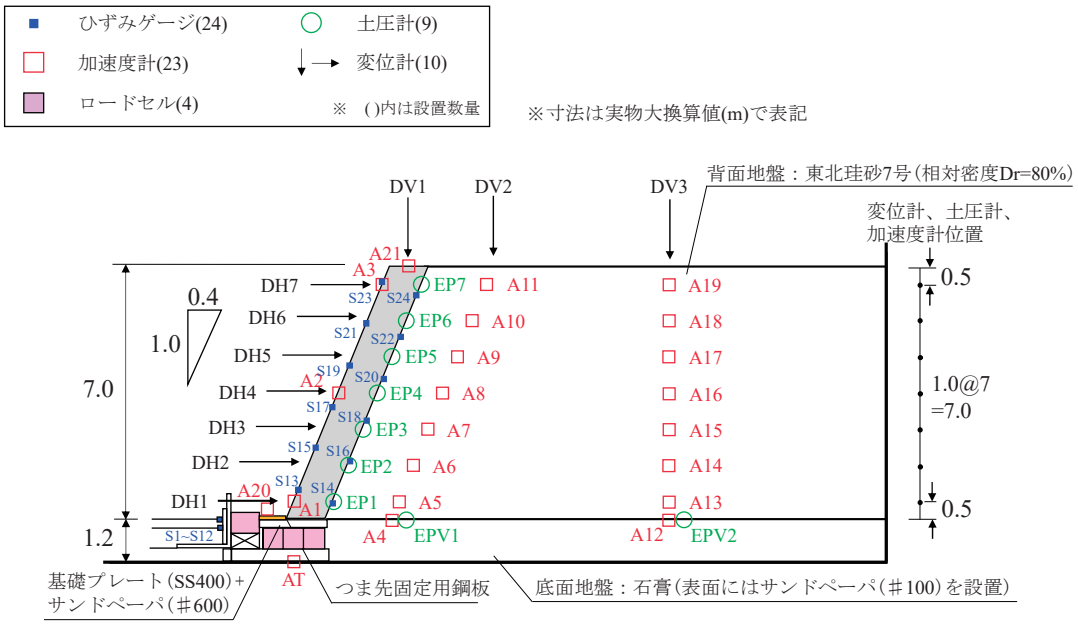


図 6.2　擁壁模型概要図

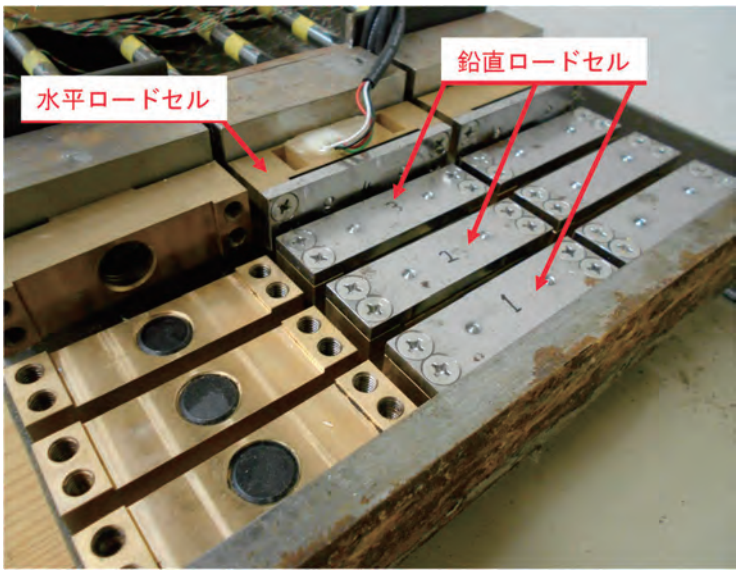


図 6.3　擁壁底面のロードセル

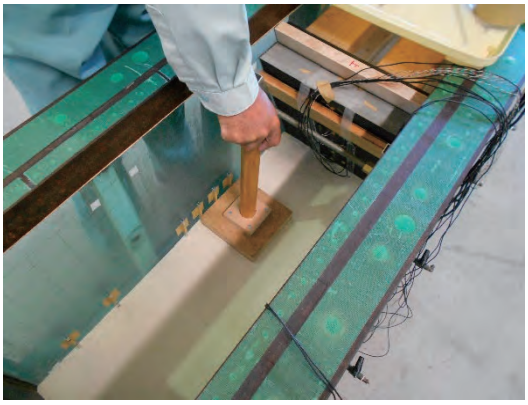


図 6.4　背面地盤の締固め

表 6.2　使用材料の物理、強度定数

	底面地盤	背面地盤	擁壁
材料	石膏	東北珪砂7号	モルタル
単位体積重量 γ (kN/m^3)	-	15.4	23.0
せん断抵抗角 φ (deg)	-	38.5 (残留強度) 45.2 (ピーク強度)	-
見かけの粘着力 c (kN/m^2)	-	0	-

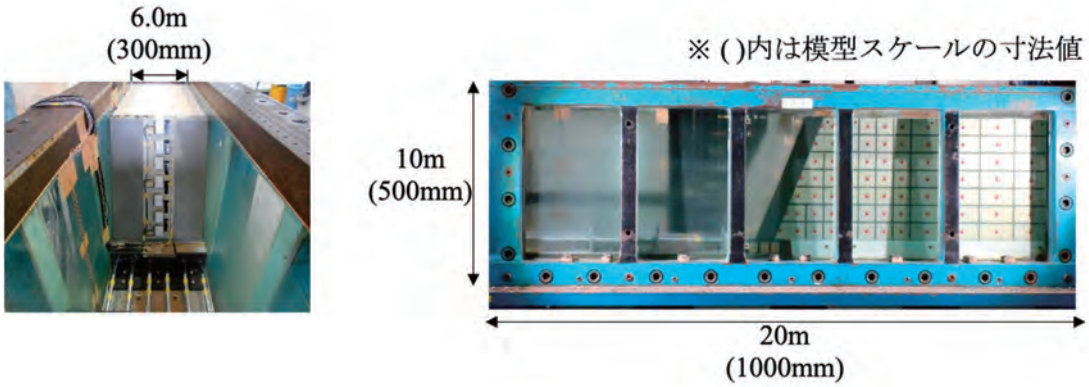
6.2.2. 計測方法

計測項目及び計測機器の一覧を表 6.3 に示す。各計測器の位置については図 6.2 を参照されたい。

表 6.3 計測項目及び計測機器の一覧

計測項目	計測機器
擁壁及び背面地盤に作用する応答加速度 (cm/s^2)	加速度計
擁壁の水平変位 (m)	レーザー変位計
擁壁及び背面地盤の沈下量 (m)	レーザー変位計
擁壁底面に作用する鉛直及び水平荷重 (kN)	ロードセル
擁壁背面に作用する水平土圧 (kN/m^2)	土圧計
底面地盤に作用する鉛直土圧(kN/m^2)	土圧計
擁壁前面及び背面の曲げひずみ(-)	ひずみゲージ

加振中のサンプリング周波数は 100Hz とし、計測時間は 40s とした。また、図 6.5 (b) に示すように、擁壁模型側面（土槽ガラス面側）には擁壁の水平変位、背面地盤のせん断変形を時刻歴で把握することが出来るように、標点及び標線を配した。加振中は高速度カメラで撮影も行い、擁壁模型及び背面地盤の挙動を観察した。



(a) 正面　　(b) 側面

図 6.5 実験のセットアップ

6.2.3. 入力地震動

入力地震動については、20 Hz（重力場換算で 1Hz）、20 波の正弦波を 1 載荷ステップとし、最大加速度を 50cm/s^2 ずつ大きくするステップ加振とした（図 6.6）。

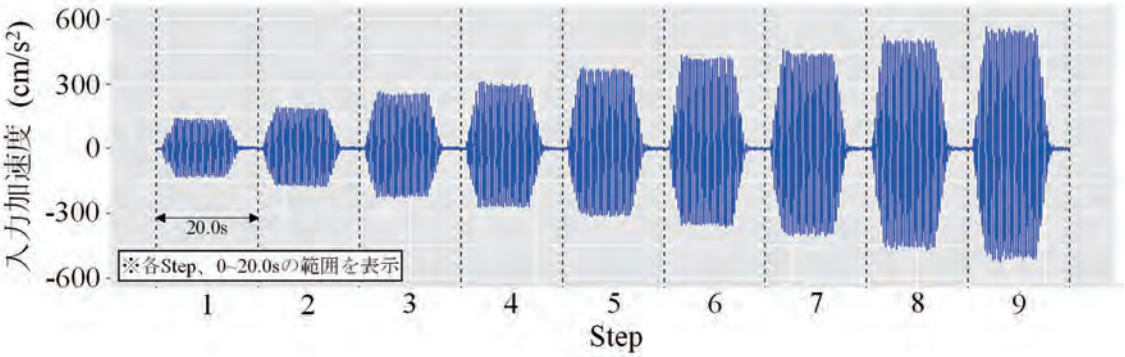


図 6.6 入力地震動

6.2.4. 実験ケース

6.1 にも示したとおり、もたれ式擁壁の現行の設計では、常時及び地震時の荷重に対し、滑動及び支持に対しては所定の安全率を確保していることを照査し、転倒に対しては荷重の合力作用位置が擁壁底面の所定の範囲内にあることを照査している。本実験では、擁壁の滑動及び転倒に対する安定と擁壁背面に作用する地盤反力の影響を調べるために、擁壁つま先の水平変位を固定しないケース（Case1）と強制的に固定するケース（Case2）の計 2 ケースを実施し、Case 1 では滑動モードが、Case 2 では鋼板によって擁壁底面の水平変位を強制的に固定したことから、転倒モードがそれぞれ卓越するように崩壊形態を誘導した（表 6.4）。なお、支持に対する安定に関しては、6.2.1 に示したとおり、良好な底面地盤を前提としていることから、実験では底面地盤の支持力破壊は生じない条件とした。

表 6.4 実験ケース

ケース	擁壁つま先における水平変位の境界条件	想定する崩壊形態
Case 1	自由	滑動
Case 2	固定	転倒

6.3. 実験結果

本節では、擁壁の破壊形態、擁壁背面に作用する地盤反力度、擁壁の滑動及び転倒に対する安定に関する検討結果を述べる。

6.3.1. 擁壁及び背面地盤の状態の推移

擁壁及び背面地盤の状態の推移について概説する。図 6.7 には、各ケースの載荷の最終 3 ステップにおける擁壁の水平変位の推移と、最終ステップ終了後における擁壁及び背面地盤の状態を示す。水平変位は、土槽内底面に取り付けた加速度計による水平加速度の大きさによって色を変えて表記している（図 6.2、加速度計 AT）。Case 1 では、Step5（最大加速度 $Acc_{max} = 307$ cm/s^2）で背面地盤にすべり線が生じ、Step6（$Acc_{max} = 341$ cm/s^2）で右図の状態に至った。対して Case2 では、Step8（$Acc_{max} = 533$ cm/s^2）で背面地盤にすべり線が生じ、Step9 （$Acc_{max} = 566$ cm/s^2）で右図の状態に至った。図中には、目視ですべり線を確認したタイミングを示している。両ケースともにすべり線が生じたタイミング付近から変位増分が大きくなった。Case 1 では、高さ方向の位置によらず一様に水平変位が増加していることから、滑動が卓越して崩壊に至ったことが確認できる。Case2 では、鋼板によって擁壁底面の水平変位を強制的に固定したことから、底面位置での水平変位がほぼゼロとなり、転倒が卓越して崩壊に至ったことが確認できる。以上より、各ケースにおいて想定した崩壊形態と実際の崩壊形態は概ね一致し、想定どおりの挙動が再現された。なお、いずれのケースも角欠け等も含めて擁壁自体に損傷は認められなかった。

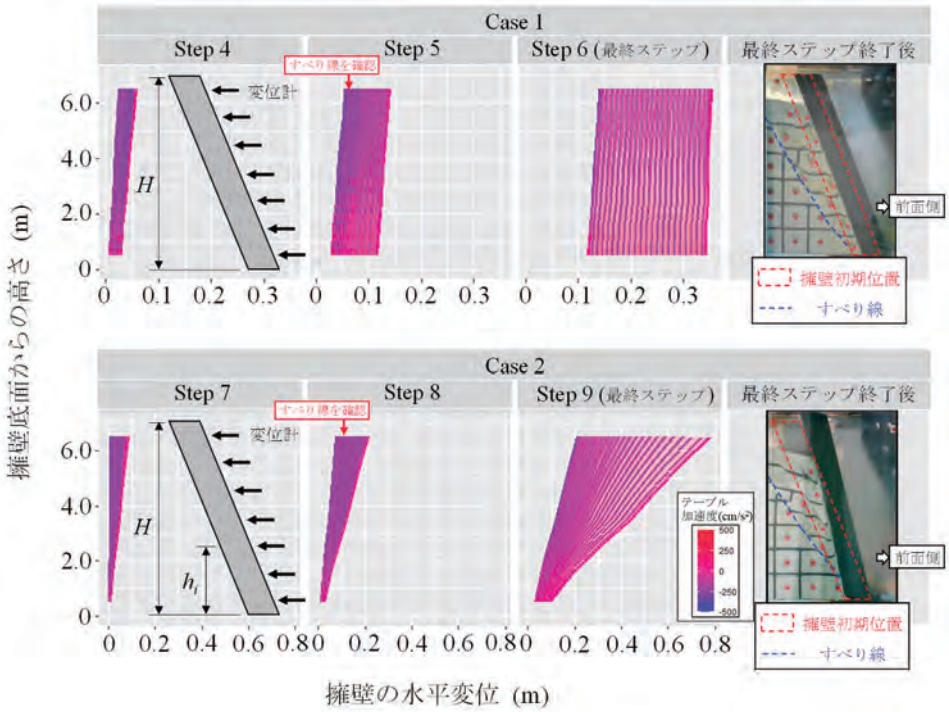
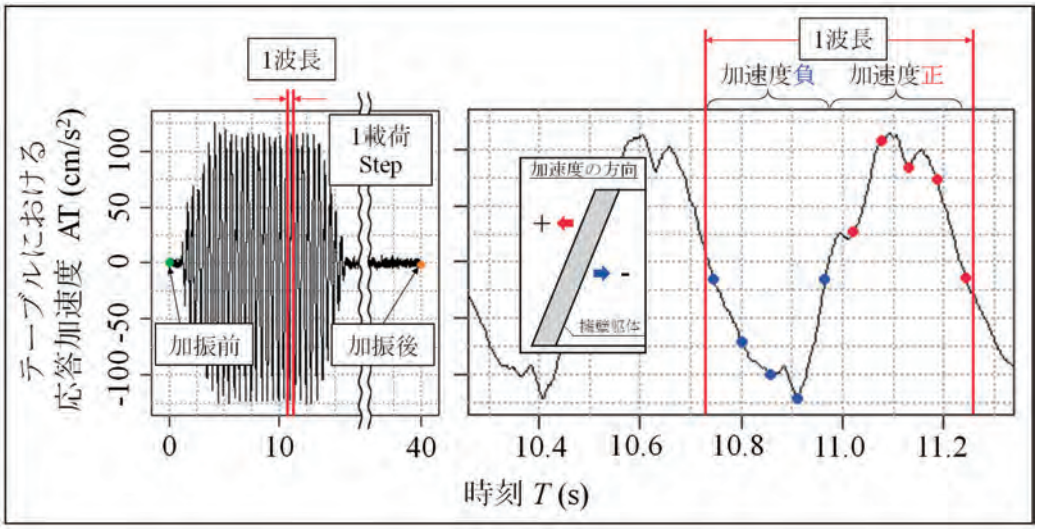
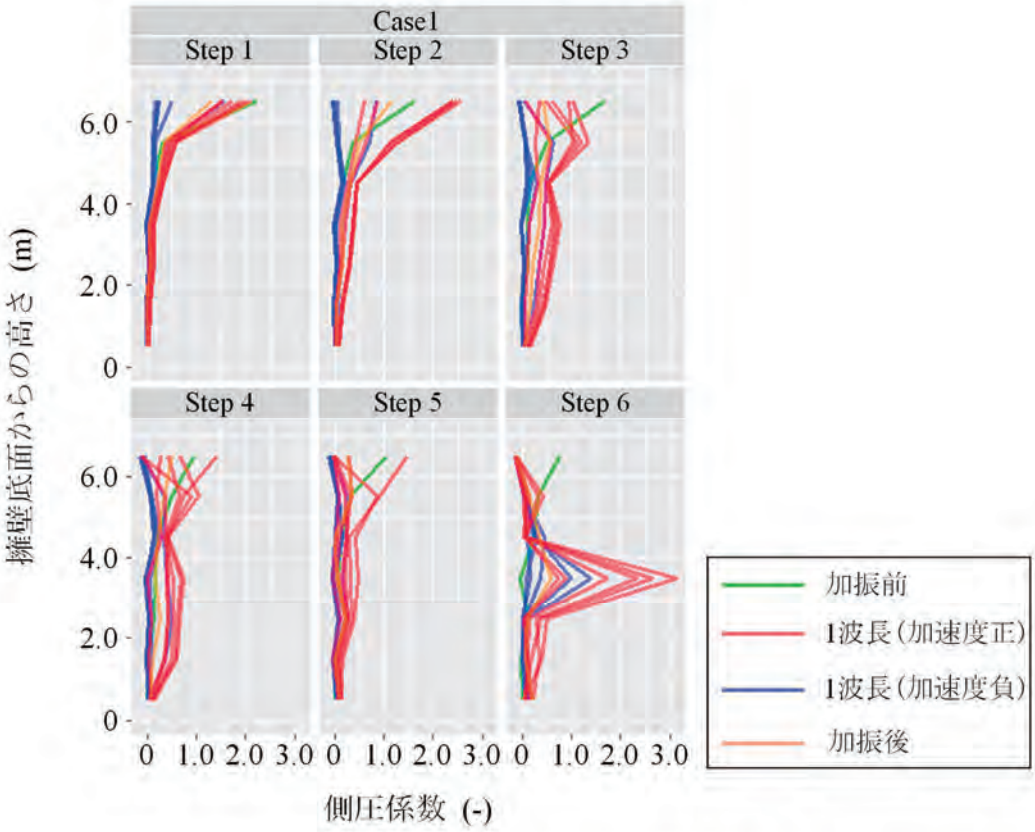


図 6.7　擁壁の水平変位の推移と載荷終了後の状態

6.3.2.　擁壁背面に作用する地盤反力度

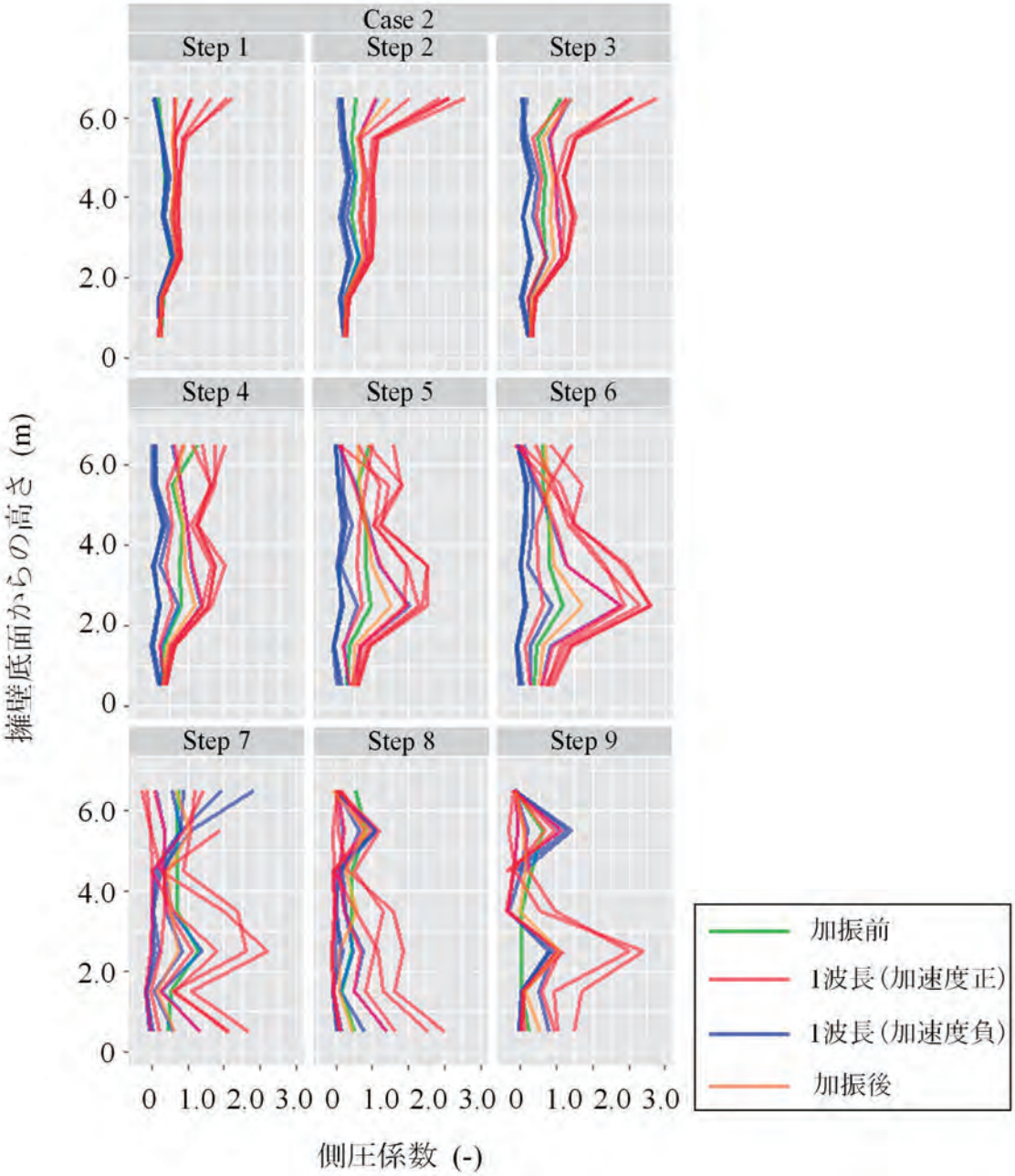
擁壁が背面地盤にもたれる挙動に着目し、背面地盤から作用する地盤反力度に関する分析を行った。まず、もたれる挙動が変化し始める条件を把握するために、擁壁に作用する力に着目した。土圧計で計測された水平力 p_{hi} (kN/m^2)には、地盤反力度及び背面地盤の主働土圧が含まれており、図 6.1 (a)によれば、擁壁の変位量、土圧計の測定位置等に応じて、それらの壁高方向の分布は異なると考えられる。本項では、地盤反力度分布とその大きさを定性的に把握し、整理することを目的に、p_{hi} (kN/m^2)を天端からの深さ H-h_i (m)及び盛土材の単位体積重量 γ(kN/m^3)で除した値 K_{hi}(=p_{hi}/ γ(H-h_i))で考察した。以後、特に断りがない限り、本節ではこれを側圧係数と言う。





(a) Case 1における側圧係数分布

図 6.8　各ケースの側圧係数分布



(b) Case 2における側圧係数分布

図 6.8　各ケースの側圧係数分布

図 6.8 には、両ケースにおける壁高方向の側圧係数の分布を示している。側圧係数の算出は、図 6.8 上部の凡例に示すとおり、加振前後及び抽出した入力加速度 1 波長の中から 1/10 波長毎に位相をずらした 10 点を加えた、計 12 点における時刻で行った。また、抽出した 1 波長は、テーブルに設置した加速度計 AT（図 6.2）の計測結果のうち、全ステップで比較的応答が安定している 15 波目とした。また、1 波長内の 10 点に関しては加速度の正負で色を分けて表示している。図中では、加速度が擁壁前面方向（慣性力が擁壁背面方向）に作用する場合を正（赤）とした。土圧計は、図 6.2 に示すとおり、擁壁の高さ方向に等間隔で 7 つ設置しており、これらより側圧係数の分布を算出した。加振中の側圧係数は、擁壁前面方向へ加速度が作用する場合（赤）には増加し、背面地盤方向へ加速度が作用する場合 （青）には減少する。また、側圧係数の分布は壁高方向に一定ではなく、特に 300 cm/s^2 程度までの加振レベル時（Step 1~4）は、擁壁下部に比べ上部の側圧係数が著しく大きい。これより、擁壁上部ほど背面地盤にもたれる挙動が強く表れており、設計で想定している地盤反力モデルの特性とも整合する結果が得られた。これ以降、300 cm/s^2 程度までの加振レベル時において、最も側圧係数の増加がみられた擁壁上部（図 6.2、土圧計 EP7 の位置）の側圧係数の推移に着目し、地盤反力度に関する分析を行う。

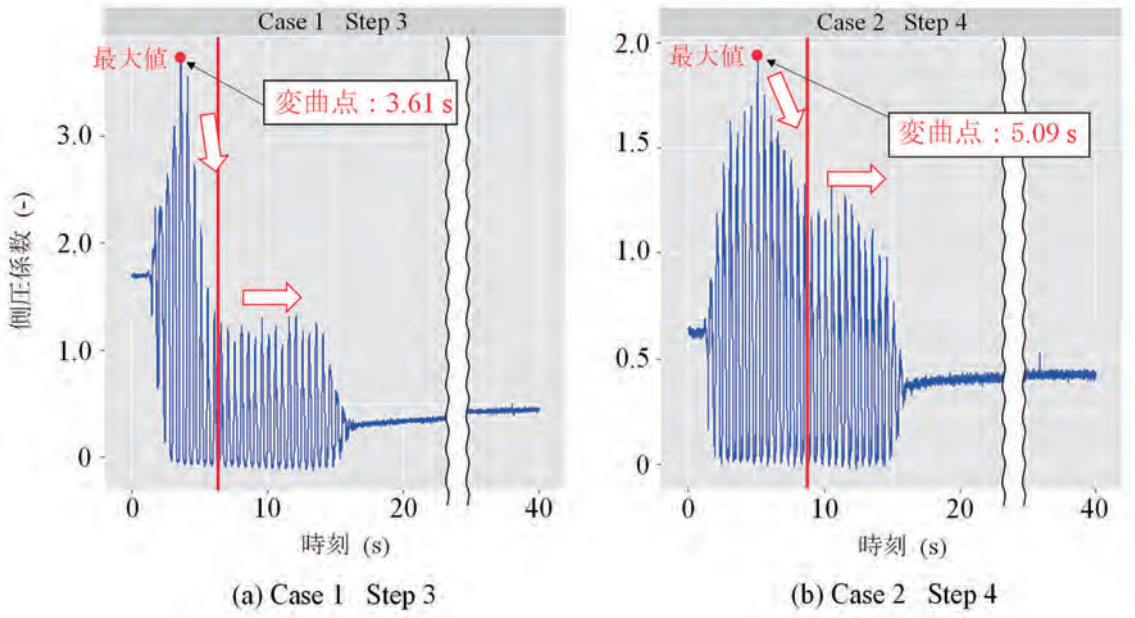


図 6.9 各ケースの側圧係数時刻歴

図 6.9 は、最上部の土圧計（図 6.2 の土圧計 EP7）から換算した側圧係数の時刻歴である。加振中、EP7 による側圧係数が最大値を観測した載荷ステップ（Case 1 の Step3 及び Case 2 の Step4）に着目した。両ケースともに、側圧係数は加振中に増減を繰り返しながら最大となった後、大きく減少し、振動応答のピークでの値は一定値に収束した。Case 1 では特にその傾向が顕著であり、最大値から、その 1/3 程度まで急激に減少した。これらの側圧係数の減少のタイミングは、擁壁背面に生じる地盤反力の特性が変化し始める点と考えることができる。以降、側圧係数が最大値となったタイミング（Case 1：Step 3 の 3.61s、Case 2：Step 4 の 5.09s）を「変曲点」と定義し、変曲点ともたれ式擁壁の滑動及び転倒の挙動を関連付けて検討した。

6.3.3. もたれ式擁壁の滑動及び転倒に対する安定に関する検討

本項では、もたれ式擁壁の滑動及び転倒に対する安定と変曲点の関係を整理する。これらの整理にあたっては、(1)滑動及び転倒の安定指標、(2)変形面積及び(3)性能曲線を定義し、これらの指標をもとに整理した。さらに、滑動及び転倒における性能曲線上の擁壁の状態を把握するとともに、変曲点前後における性能曲線の変化について考察した。

(1) 滑動及び転倒の安定指標

もたれ式擁壁の滑動及び転倒に対する安定を示す指標として、次式のとおり定義した滑動及び転倒の安定指標 F_s 及び F_o を用いた。

$$F_s=1/\{\mu_c/(P_h/P_v)\} \tag{6-1}$$

$$F_o=1/\{M_r/M_s\} \tag{6-2}$$

ここで、P_h 及び P_v は、それぞれ擁壁底面位置における水平荷重及び鉛直荷重の計測結果である。μ_c はブロックの摩擦試験結果から得た動摩擦係数（本研究では $\mu_c=0.52$）である。つまり、滑動の安定指標 F_s とは、擁壁が移動する限界の摩擦係数に対して、どれだけの鉛直及び水平反力の比になっているかを示す指標であり、現行のもたれ式擁壁の設計における滑動照査の安全率の逆数と同義である。また、M_r 及び M_s はそれぞれ、擁壁つま先周りの抵抗モーメント及び起動モーメントであり、これらは実験上、直接的に計測が出来ないため、土圧計、荷重計等による計測値を用いて力のつりあいから次式により算出した。

$$M_r=P_w d_{x.W}+Q_{Eh} d_{y.EP}+P_{Ev} d_{x.EP} \tag{6-3}$$

$$M_s=P_{wk} d_{y.W}+Q_{Ev} d_{x.EP}+P_{Eh} d_{y.EP} \tag{6-4}$$

力のつりあい及び M_r と M_s の算出に使用したパラメータは、図 6.10 に示す。ここで、背面地盤から作用する土圧合力 P_E については、土圧計より求めた土圧合力 $P_{E.obs}$ を壁面

摩擦角 δ で補正し用いることとした。壁面摩擦角 δ は精緻に推定することが困難であるため、本試算では擁壁工指針に準じることとし、常時 δ=2 ϕ/3、地震時 δ= ϕ/2 を用いた。

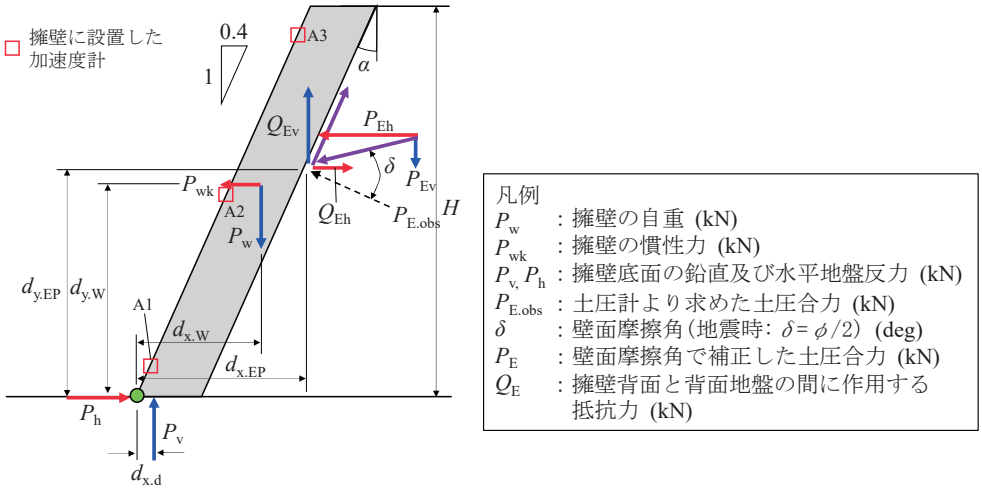


図 6.10　力のつりあいの模式図

(2) 変形面積

豊澤ら[43]は、土留め壁の異なる変形モードに対する土圧合力の変化を、式(6-5)のように土留め壁が変位した面積（以下「変形面積」という。）A を壁高 H の 2 乗で除して、無次元化した指標 DI（以下「変形面積指標」という。）で評価している。

$$DI=A/H^2 \tag{6-5}$$

この式の形からは、単位高さあたりの平均的な水平変位を求めていることになる。つまり、擁壁が剛体的に挙動したときには、高さの中央での変位を H で除した値である。DI を用いることで、あらゆる変形モードに対しても普遍的な比較ができる。図 6.7 に示すとおり、本実験条件においても Case 1 及び Case 2 では図 6.11 のように、異なる変形モードが確認されたことから、豊澤ら[43]と同様の整理を行った。本実験における変形面積 A(m^2)は、次式で表される。

$$A=A_s+A_o \tag{6-6}$$

ここで、A_s 及び A_o は、それぞれ滑動及び転倒モードによる変形面積(m^2)である。いずれも計測した擁壁の水平変位より算出し、全変形面積 A に占める A_s 及び A_s の割合を示す滑動の変形面積率 $A_s/(A_s+A_o)$ (%) 及び転倒の変形面積率 $A_o/(A_s+A_o)$ (%) も合わせて計算した。

(3) 性能曲線

ここでは、擁壁が不安定になる状態を評価する曲線を性能曲線と定義する。以下には、擁壁が不安定になる状態と変形面積指標 DI 及び安定指標 F_s、F_o の関係を整理し、滑動及び転倒の性能曲線をそれぞれ定義した。

a) 滑動の性能曲線

滑動に対する安定指標 F_s は、擁壁底面に生じるせん断力と擁壁底面のせん断耐力を比べた指標であり、これが 1.0 を超えれば擁壁は不安定になる。したがって、滑動に対する性能曲線としては、変形面積指標 DI 及び F_s の履歴曲線の包絡線を抽出した。

b) 転倒の性能曲線

転倒に対する安定指標 F_o は、つま先回りの起動モーメント及び抵抗モーメントの比を表している。言い換えれば、擁壁の回転に対する力のつり合いを解くことになる。ここで回転運動に対して擁壁が不安定となる状態は、擁壁が前方に回転した結果、倒れることと考えることができる。擁壁を剛体として扱えば、1 自由度系の回転運動の問題ととらえることができる。したがって、転倒に対する性能曲線としては、振動応答中に擁壁が前方へ運動するときに、運動エネルギーがピークをとった時の DI 及び F_o の関係を抽出した。

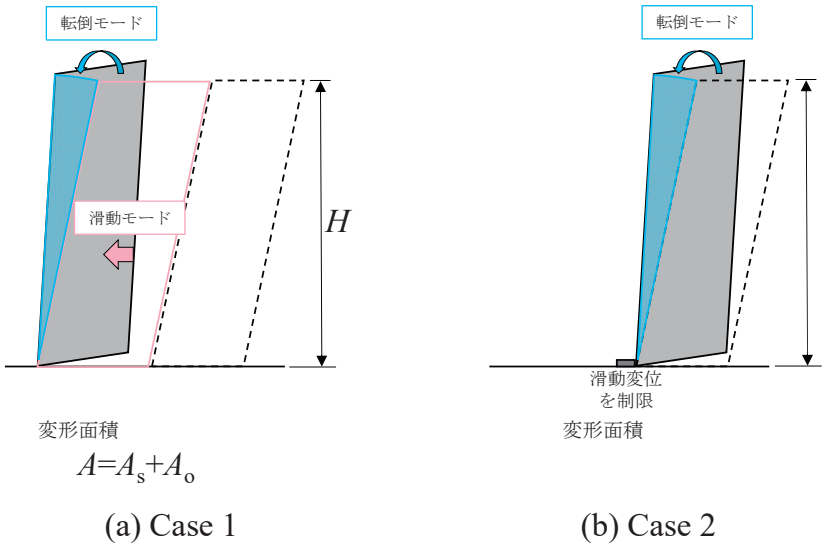
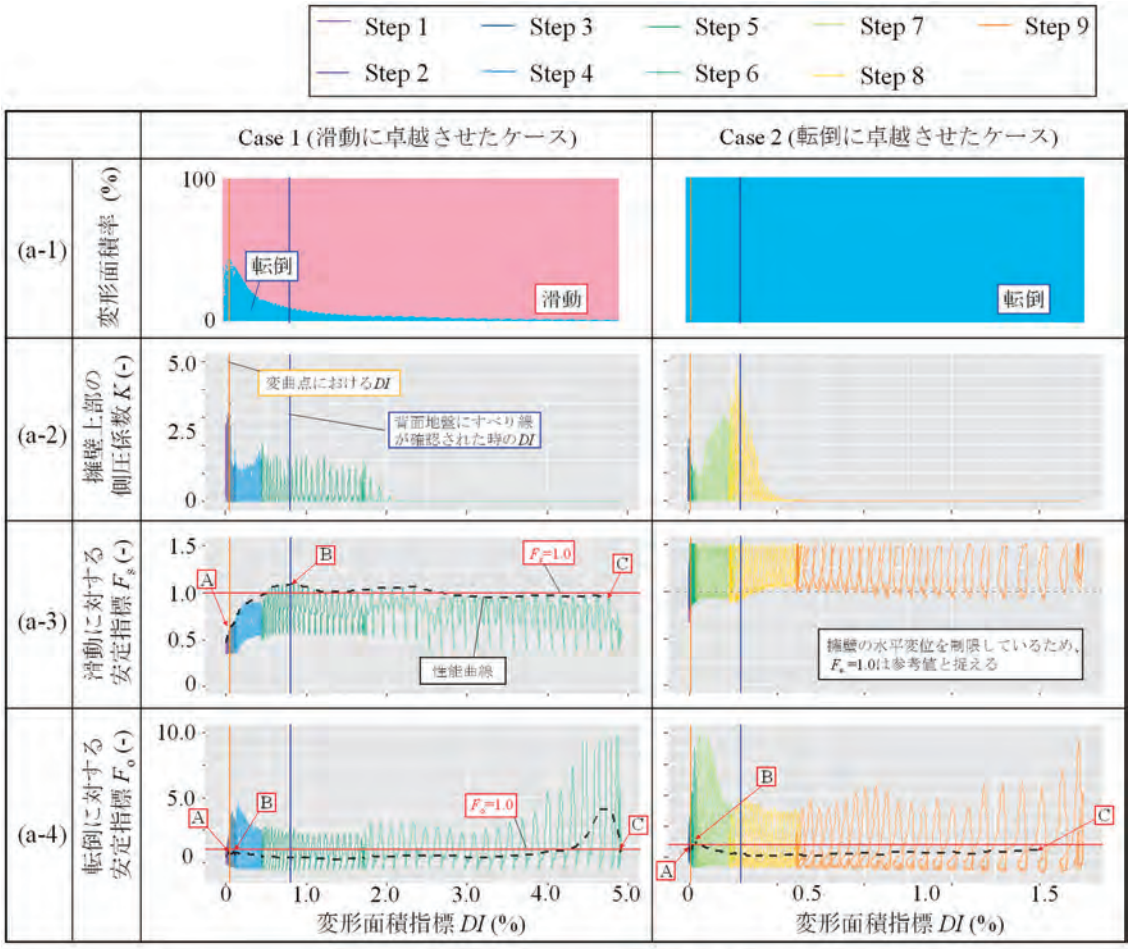


図 6.11　変形面積の考え方の概念図

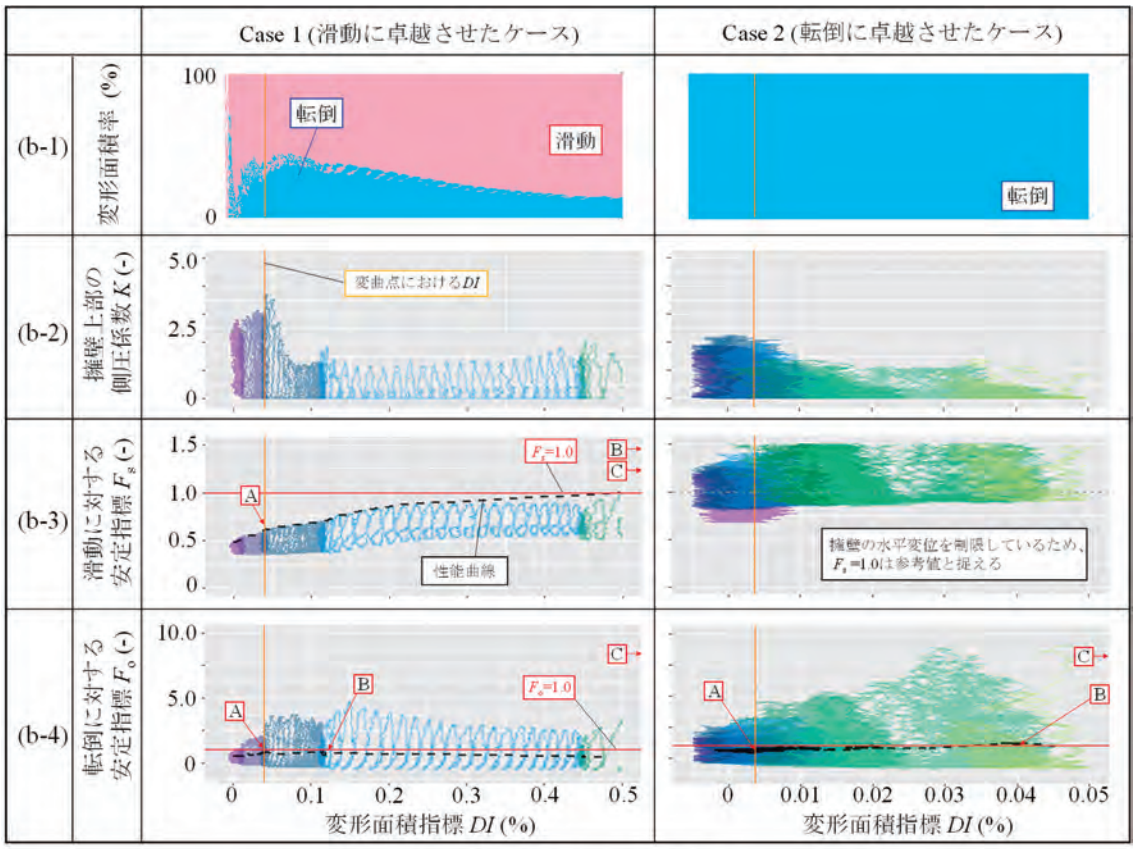
図 6.12 に分析結果を示す。図 6.12(a)及び(b)は横軸 DI の範囲を変えている。図 6.12 (a)は計測開始時から加振最終ステップまで、図 6.12 (b)は変曲点付近の時刻までを表示

している。図中の縦軸は、それぞれ(a-1)、(b-1)：滑動及び転倒の変形面積率 $A_s/(A_s+A_o)$ 及び $A_o/(A_s+A_o)$ (%)、(a-2)、(b-2)：擁壁上部(土圧計 EP7 の位置)における側圧係数 K、(a-3)、(b-3)：滑動に対する安定指標 F_s、(a-4)、(b-4)：転倒に対する安定指標 F_o を示している。また、載荷ステップ毎に色を変えて表示している。図中の橙色線及び青線は、変曲点及び目視で背面地盤にすべり線を確認した時刻における DI を、赤線は F_s, F_o=1.0 を示している。(a-3)、(a-4)及び(b-4)には、DI 及び F_s、F_o の関係に加え、黒破線で性能曲線を示しており、この性能曲線上に、表 6.5 に示す特徴点を定義した。



(a) 加振最終ステップまで

図 6.12　DI と Fs、Fo の関係



(b) 変曲点付近のDIまで

図 6.12　*DI* と F_s、F_o の関係

表 6.5　性能曲線上の特徴点

点	定義
A 点	図 6.9 の変曲点
B 点	性能曲線が最大に達した点
C 点	性能曲線の終点

滑動及び転倒における性能曲線と擁壁の状態を関連付けるために、定義した特徴点間における性能曲線と擁壁の状態に着目し、結果を述べる。まず、Case 1 の結果について述べる(図 6.12 (a))。Case 1 は擁壁つま先の水平変位を制限しておらず、滑動で崩壊したケースである。

①A 点までの区間

A 点までの区間では、滑動及び転倒ともに *DI* の増分は以降のステップと比較してわずかであった。変形面積率に着目すると、初期には滑動による変形面積率が多くを占めるものの、転倒による変形面積率は A 点でほぼピーク（45%程度）をとり、このとき F_o は 1.0 程度となり、最大となった。一方で F_s は 0.7 程度であった。擁壁及び背面地盤には目立った変状は確認されなかった。

②A 点から B 点の区間

A 点から B 点では、A 点までの区間よりも *DI* の増分が大きくなった。変形面積率に着目すると、転倒に起因した変形面積率は A 点のときよりも減少し、滑動による変形が卓越し始めた。この区間では F_o の増減はほぼ見られなかったものの、F_s は 1.0 に達し、この時に背面地盤には目視ですべり線が確認された。

③B 点から C 点の区間

B 点から C 点の区間では *DI* が急増し、すべり線の発達とともに、急速に崩壊まで進行した。変形面積率においては、滑動に起因した変形面積が大部分を占めていた。C 点に近づくにつれ、F_s のピーク値はやや減少した一方で、F_o のピーク値には増加傾向が見られたが、崩壊間際で擁壁及び背面地盤が大きく変状していたことから、計測機器への影響が生じていたことが予想される。

次に、Case 2 の結果について詳述する。Case 2 は擁壁つま先の滑動変位を制限しており、転倒で崩壊したケースである。

①A 点までの区間

Case 1 と同様に、Case 2 でも A 点までの区間では *DI* の増分は以降のステップと比較してわずかであった。また、変形面積率によれば、滑動による変位が制限されていることから常に転倒による変位が支配的であり、*DI* の絶対量としても Case 1 よりも小さくなった。さらに A 点付近における F_o が 1.0 程度になったことも Case1 と同様であり、擁壁及び背面地盤には目立った変状は確認されなかった。

②A 点から B 点の区間

A 点から B 点は、A 点までの区間よりも *DI* の増分が大きくなり、B 点付近では F_o が最大に達した。この時、すべり線は確認されなかった。

③B 点から C 点の区間

B 点から C 点では、B 点で F_o が最大となって以降、やや減少し、ステップ 7 ですべり線が確認された。すべり線が確認されて後は *DI* が急増し、すべり線の発達とともに崩壊に至った。

Case 1 及び Case 2 の結果より、F_s 及び F_o と擁壁の状態の関係をまとめると、以下のように考えられる。

- 滑動及び転倒の破壊モードのいずれかによらず、変曲点までは転倒による背面地盤の変形が比較的大きくなった。例えば、滑動モードに誘導した Case 1 の場合でも、全体の変位に占める転倒の割合は 45%程度確認された。
- すべり線が確認され背面地盤が大変形した後を除けば、変曲点付近で転倒の性能曲線は概ね 1.0 で最大に達した。このことから変曲点は、擁壁が背面地盤にもたれる挙動に変化が生じ始める点である可能性がある。
- また、F_o が最大に達するまでは擁壁及び背面地盤には目立った変状が確認されず、以降のステップと比較して変位の増分はわずかであった。
- F_s=1.0 に達し、すべり線が確認された前後でも F_o の挙動が大きく変化することはなかった。
- 上記より、本実験条件の範囲内では、F_o が 1.0 に達すると、背面地盤の抵抗特性が変化し始める可能性があるが、その程度は必ずしも大きくなく、F_s=1.0 に達しすべり線が確認された前後においても、ほとんど変化することはないようである。

6.4. 本章のまとめ

本章では、もたれ式擁壁の背面地盤にもたれかかって安定を確保する抵抗機構に着目し、1/20 スケールの動的遠心模型実験を行った。動的遠心模型実験では、滑動及び転倒モードがそれぞれ卓越するように破壊形態を誘導したケースの計 2 ケースを行った。まず、背面地盤から擁壁に作用する力に着目し、擁壁が背面地盤にもたれる状態に変化が生じる点を定量的に分析した。さらに、背面地盤にもたれかかって安定を確保するメカニズムが担保される条件について、擁壁の滑動及び転倒の安定に関連づけて分析した。本章で得られた知見を以下に示す。

1) 加振中における壁高方向の側圧係数分布は、加振レベルが小さい時(300 cm/s^2 程度)には特に、壁高方向に側圧係数は一様ではなく、擁壁上部ほど大きい傾向が確認された。
2) 側圧係数の増加が顕著だった、擁壁最上段に設置した土圧計位置における側圧係数

は、加振中に増減を繰り返しながら最大となった後、大きく減少し、振動応答のピークでの値は一定値に収束した。この振動応答のピークが減少し始める点が、擁壁背面に生じる地盤反力に変化が生じる点、つまりもたれる挙動が変化する点と考えられる。

3) もたれ式擁壁の滑動及び転倒に対する性能曲線と変曲点の関係を検討するにあたって、新たに滑動及び転倒の安定指標 F_s、F_o 及び変形面積指標 DI を定義した。さらに、F_s、F_o 及び DI の関係、変曲点、擁壁の状態を整理することで、4)~7)の知見が得られた。

4) 滑動及び転倒の破壊モードのいずれかによらず、変曲点までは転倒による変形が比較的大きく、大変形後を除けば、変曲点付近で F_o は概ね 1.0 で最大に達する。このことから変曲点は、擁壁が背面地盤にもたれる挙動に変化が生じ始める点である可能性がある。

5) また、F_o が 1.0 に達するまでは、擁壁及び背面地盤には目立った変状が確認されず、以降のステップと比較して、変位の増分はわずかである。

6) さらに F_s=1.0 に達し、すべり線が確認された前後でも F_o の挙動が大きく変化することはない。

7) 上記より、F_o が 1.0 に達すると、背面地盤の抵抗特性が変化し始める可能性があるが、その程度は必ずしも大きくなく、F_s=1.0 に達し、すべり線が確認された前後においてもほとんど変化することはないと考えられる。

7. プレキャスト部材の機能向上に資する付加技術の検討

大型ブロック積擁壁を含むプレキャスト部材は、単純なコスト比較では現場打ちコンクリートと比べて必ずしもメリットがでるものではなく、施工、維持管理等の段階において、活かすことのできるプレキャストならではの良さを強調していく必要があると考えられる。そのためには、現状の技術に加え現場ニーズに即した機能向上に対応できる付加技術の方向性を整理し、これに基づいて製品の技術開発が促進されることが効率的と考えられる。

ここでは、変状実態及び製品の運用実態から、施工性、維持管理性等の向上に資する付加技術の方向性、及びこれに基づいて施工、維持管理等で実践すべきと考えられる具体的な付加技術や留意事項を検討した。

7.1. プレキャスト部材の機能向上に資する付加技術開発の方向性検討

道路土工構造物を新設又は改築する場合の一般的技術基準である道路土工構造物技術基準[14)]では、表 7.1 に示したとおり、道路土工構造物に関する基本的事項として「道路土工構造物の新設又は改築にあたっては、使用目的との適合性、構造物の安全性、耐久性、施工品質の確保、維持管理の確実性及び容易さ、環境との調和並びに経済性を考慮しなければならない。」とされている。本検討においてもこの基本的事項を意識した。また、どの段階で、誰に対して活かすことのできる技術とするか、といった「段階」と「対象者」に着目した。「段階」に関しては、基本的事項を考慮したうえで、設計、施工及び維持管理に分類し、「対象者」に関しては、道路管理者、コンサルタント、施工者及び道路利用者を想定した。さらに人口減少及び高齢化による技術者不足を踏まえると、技術者の経験に応じて支援に必要な技術も異なってくるものと考えられることから、対象者をさらに、共通、経験豊富及び経験浅に細分した。

表 7.2 は、このような分類をマトリクスで表し、これに関連業界団体内でのアンケート等をとおして機能向上の方向性を議論した結果を示したものである。

この表は、今後、製品開発者が、技術開発を行ううえで配慮すべき基本的な方向性として活用されることを意図したものである。

表 7.1　道路土工構造物の新設又は改築に当たって考慮すべき事項（日本道路協会 道路土工構造物技術基準・同解説[14)]）

1)使用目的との適合性	使用目的との適合性とは、道路土工構造物により形成される道路が計画どおりに利用できる機能のことであり、通行者が安全かつ快適に使用できる使用性等を含む。
2)構造物の安全性	構造物の安全性とは、死荷重、活荷重、降雨や地震の影響等の作用に対し、道路土工構造物が適切な安全性を有していることである。
3)耐久性	耐久性とは、道路土工構造物に経年的な劣化が生じにくいこと、また生じたとしても使用目的との適合性や構造物の安全性が大きく低下することなく、所要の性能が確保できることである。
4)施工品質の確保	施工品質の確保とは、使用目的との適合性や構造物の安全性及び耐久性を確保できることの前提となる所要の施工品質が確実に得られることである。また、施工段階における安全性も有していなければならない。施工の良し悪しが耐久性に及ぼす影響が大きいことを設計の段階で十分に認識して、適切な施工品質が得られるよう努めることが重要である。また、設計計算だけでは決定しないような細部構造等も、耐久性と密接に関係がある場合があるので、設計において慎重に検討する必要がある。
5)維持管理の確実性及び容易さ	維持管理の確実性及び容易さとは、供用中の日常の点検、定期的な点検、地震等の災害時に被災の可能性の有無や程度等の道路土工構造物の状態を確認するために行う必要がある調査、劣化や損傷が生じた場合に必要となる調査、補修や補強作業等が、確実かつ合理的に行えることであり、これは設計の前提として耐久性や経済性にも関連するものである。
6)環境との調和	環境との調和とは、道路土工構造物が周辺の自然環境や社会環境に及ぼす影響を軽減すること又は道路土工構造物が周辺環境と調和すること及び道路土工構造物が周辺環境にふさわしい景観性を有すること等である。また、良好な自然環境が存在する地域においては、必要に応じて生物多様性の確保及び多様な自然環境の体系的保全にも配慮する。
7)経済性	経済性に関しては、ライフサイクルコストを最小化する観点から、単に建設費を最小にするのではなく、点検管理や補修等の維持管理費を含めた費用がより小さくなるよう心がけることが大切である。

表 7.2　機能向上の方向性（例）

対象者＼段階		設計	施工	維持管理
道路管理者	共通	●設計の容易さ及び設計ミスの抑制 ◆ライフサイクルコストの最小化 ▼景観への配慮	■資材調達の円滑さ（製品・資材の運搬経路情報提供支援） ■施工管理の合理化（検査の簡略化）	▲現地において基礎情報取得が可能なブロック構造（擁壁基本構造、製品基本情報）
	経験豊富	◆計画製造等による製品コスト縮減	—	▲３次元測量等の実施の容易さに配慮したブロック構造
	経験浅	●設計の容易さ及び設計ミスの抑制	—	▲PCa 製品特有の点検項目
コンサルタント	共通	●設計の容易さ及び設計ミスの抑制	—	▲体系化した変状、補修・補強事例の提供 ▲変位、傾斜等の定量的測定が容易なブロック構造 ▲足場工等が取付け可能なブロック
	経験豊富	▼景観への配慮	■施工計画の高度化による手戻りの縮減	—
	経験浅	●設計の容易さ及び設計ミスの抑制	■施工品質の確保 （現場打と PCa の施工工程の違いによる手戻りの縮減）	▲PCa 製品特有の点検項目の体系化
施工者	共通	—	■足場工等が取付け可能なブロック ■現場打と PCa の施工工程の違いによる手戻りの縮減	—
	経験豊富	—	■施工計画の高度化による手戻りの縮減	—
	経験浅	■人材・人手不足への対処（現場条件に応じた効率化例の提供）	■適切な施工管理を支援する構造のブロック ■人材・人手不足への対処（オールプレキャスト化）	—
道路利用者		▼環境との調和 ●構造上問題のない変状での不要な不安感の解消	▼周辺地域への配慮	●構造上問題のない変状での不要な不安感の解消

●：使用目的との適合性、構造物の安全性、耐久性
■：施工品質の確保
▲：維持管理の確実性及び容易さ
▼：環境との調和
◆：経済性

7.2. 具体的な付加技術等の検討

本節では、表 7.2 を基本的な方向性とし、施工品質の確保及び維持管理の確実性及び容易さの観点をとりあげて、これらに関して実践すべきと考えられる具体的な機能向上の付加技術や留意事項を検討した。

7.2.1. 検討の方法

検討にあたっては、その結果を実行性の高いものとするために、大型ブロック積擁壁の変状実態及び積みブロック製品の運用実態を調査し、検討を行ううえでの基礎情報として活用した。

まず、施工に関する事項については、大型ブロック積擁壁等の建設工事の事例における道路管理者、コンサルタント、施工者等からの好評の声（好事例）や、実際の失敗事例を収集した。収集の方法は、全国土木コンクリートブロック協会の実務者とのブレーンストーミング及び協会員へのアンケート調査によった。アンケート等の結果から、失敗事例に対する原因分析が必要なものにはこれを行い、付加技術のポイント及び具体的な解決手段を整理した。次に維持管理については、道路土工構造物点検要領[44)]等の内容、変状実態、点検精度の実情等を考慮し、同様にブレーンストーミングをとおして維持管理性向上のポイントを検討し、これを提案した。

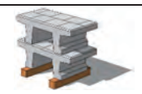
7.2.2. 検討の結果

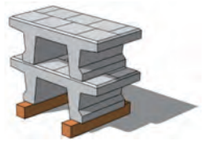
(1) 施工品質の確保に関する事項

表 7.3 には、施工に関する事項を取り上げ、施工における好事例及び失敗事例、付加技術のポイント及び具体的な付加技術を、大型ブロック積擁壁の施工工程ごとに整理した結果を示す。

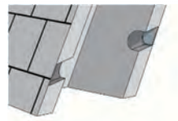
ここに示したような事項は、製品の開発者は製品開発の着眼点として、施設管理者等は製品を選定するうえでのコスト以外のポイントとして、施工者は施工の留意点としてなど、大型ブロック積擁壁を建設するうえでの一連のプロセスにおいて活用されることで、安全かつ施工品質が確保された構造物の建設や、手戻りの縮減に繋がることが期待される。

表 7.3　施工に関する付加技術

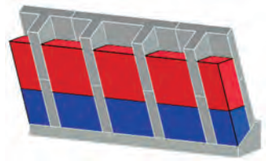
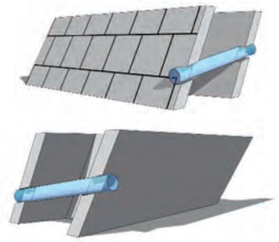
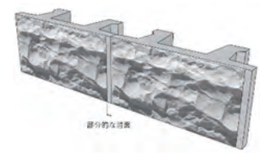
	現場の声		③付加技術のポイント	④付加技術（解決手段）の例	備考
	①好事例	②失敗事例			
1 製造～6 検査	－	製造時のコンクリート打設面が、上段の積みブロックの設置面となる製品について、外形寸法は JIS の許容誤差の範囲内だったが、製品のコンクリート打設面のコテならしの精度について改善の求めがあった。	(1)積みブロックは、上段のブロックが良好に設置できる構造とする。	・打設面が上段の積みブロックの設置面となる製品について、コテならし面の平面度の程度を具体的に示しておく。 ・打設面が上段ブロックの設置面となる積みブロックは、通常よりもコテならし面の平面度を向上させる。	
1 製造～6 検査	－	製造時期の違いにより積みブロック表面の色が異なっていたため、色を合わせるよう改善の求めがあった。	(2)積みブロックの製造に当たっては、外観を損なわないように留意する。	・色の異なっている積みブロックは、目立ちづらい位置（根石等）に配置する。 ・色の異なる積みブロックが近い位置に集中しないようにランダムに配置する。	
1 製造～6 検査	－	意匠面の厘木等の跡について、改善の求めがあった。	(2)積みブロックの製造に当たっては、外観を損なわないように留意する。	・意匠面が汚れないように、プラスチック製の厘木を使うなど、具体的な堆積方法を示しておく。	
1 製造～検査	－	ブロック控え部分の気泡について、改善するよう要求があった。	(2)積みブロックの製造に当たっては、外観を損なわないように留意する。	・限度見本による外観管理を強化する。	
2 運搬	－	運搬時に意匠面を下にして積んでいたため、施工時に反転するなど、現場で余計な手間と危険を伴った。	(1)運搬時の積みブロック等の積み方は、現場作業を考慮したものとする。	・極力、現場での作業を考慮した荷姿とする。	 現場作業を考慮した荷姿のイメージ
2 運搬	－	積込み、荷卸し時に製品の破損や欠けが生じ、返品となった。	(2)積込み、荷卸し時に製品の破損・欠けが生じないように慎重に行う。		
2 運搬	－	擁壁の施工のスピードが速く、積みブロックの搬入が間に合わなかった。特に、繁忙期は納品が重なるため、運搬車の台数も限られる。	施工計画に整合するように、事前に仮置きヤードを確保する。		

	現場の声		③付加技術のポイント	④付加技術（解決手段）の例	備考
	①好事例	②失敗事例			
3 仮置き	―	・積みブロック単体の安定性が悪く、仮置きヤードにおいて段積みできなかったため、当初想定していた以上の広さの仮置きヤードが必要になった。 ・仮置きヤードがなく当日必要な数量を日々要求されるため、運搬費用がかさんだ。	(1)積みブロックの仮置きは、積みブロックの安定が確保された状態となるように行う。	・仮置き時の積みブロックの安定性も考慮して、積みブロックの堆積方法を具体的に示しておく。 ・仮置きヤードが狭小な場合などでは、限られたスペースにおいて必要な数の積みブロックが仮置きできるように、積みブロック自体の安定性が高い積みブロック製品を採用することも検討する。	 積みブロックの安定性を考慮した堆積方法のイメージ
3 仮置き	―	最初に使う積みブロックを遠くに仮置きしたので、スムーズに積み上げられなかった。	(2)仮置きの荷下ろしに当たっては、積みブロック等の組立て積層が容易となるように、積みブロック等の積層の順序を考慮する。	同左	
4 組立て	水平積の製品を使用したが、組立時の積みブロックの安定を確保しやすかった。また、施工性が非常に良好であった。	勾配積のブロック積擁壁を施工する際に、積層時の積みブロックの安定が確保されておらず、積みブロックが倒れた。	(1)積みブロックの組立ては、安全かつ組立て時の安定が確保された状態となるように行う。	・施工工程を考慮したうえで、積みブロック単体でもその安定が計算等により確認された積みブロックを使用する。 ・積みブロック単体で安定が確保されがたい場合には、パイプサポート等により支持する。	
4 組立て	ワンタッチ式吊り金具を使用できる製品であったが、操作が簡単でかつ安心して吊り上げられた。	製品吊り上げ用アンカーの取付け不具合により、吊り上げ途中に施工金具が外れ、積みブロックが落下した。	(1)積みブロックの組立ては、安全かつ組立て時の安定が確保された状態となるように行う。	・施工金具の取付方法、および積みブロックの吊り上げ方法、注意事項を示しておく。	
4 組立て	―	下部に設置した積みブロックの位置の少しの狂いにより、上部での位置の狂いが大きくなって積みなおしとなった。	(2)1)勾配等の出来高の確実な確保の方法とその容易さ	・PCa 基礎を使用することで、設置面の平坦性を確保し、ブロックの施工精度・施工性を向上させる。	
4 組立て	積みブロック前面下部に欠き込みを有する構造の製品は、欠き込みにシノ棒を刺して積みブロックの位置等を微調整できるため好評であった。	設置勾配・位置の微調整が容易でない構造の積みブロックであったため、施工しづらかった。	(2)1)勾配等の出来高の確実な確保の方法とその容易さ	調整が容易な構造の積みブロックを使用する。 ・微調整できるように、バール用の切り欠きを付ける。	 切り込みのイメージ

<table>
<tr><th></th><th colspan="2">現場の声</th><th rowspan="2">③付加技術のポイント</th><th rowspan="2">④付加技術（解決手段）の例</th><th rowspan="2">備考</th></tr>
<tr><th>①好事例</th><th>②失敗事例</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>・突起や目印による施工ガイドを設ける。</td><td></td></tr>
<tr><td>4 組立て</td><td>－</td><td>・きつい曲線部を施工した際に、上下のブロックどうしの接合部の突起が干渉して設置しづらかった。
・上下のブロックどうしの接合部の噛み合わせに調整代が無いため、施工しにくかった。</td><td>(2)1)勾配等の出来高の確実な確保の方法とその容易さ</td><td>製品の適用が可能な施工条件の範囲を明示する。</td><td>曲線部の適用条件
<table><tr><th rowspan="2">法面勾配</th><th rowspan="2">半径（m）</th><th colspan="8">ブロックの積段数</th></tr><tr><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th></tr><tr><td rowspan="5">5分</td><td>30</td><td>○</td><td>○</td><td>×</td><td>×</td><td>×</td><td>×</td><td>×</td><td>×</td></tr><tr><td>50</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>×</td><td>×</td><td>×</td><td>×</td><td>×</td></tr><tr><td>80</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>×</td><td>×</td><td>×</td></tr><tr><td>100</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>×</td><td>×</td></tr><tr><td>150</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>4 組立て</td><td>－</td><td>意匠面が擬石タイプ等の法線の位置に仮想点を合わせる製品は、水糸を合わせにくく、施工管理しにくかった。</td><td>(2)1)勾配等の出来高の確実な確保の方法とその容易さ</td><td>擬石タイプの場合、控えをどこで定義しているか一目でわからない場合には、法線の取り方を明示しておく。</td><td>

法線の取り方の明示</td></tr>
<tr><td>4 組立て</td><td>－</td><td>法面勾配が変化する場合に施工管理が難しかった。</td><td>(2)1)勾配等の出来高の確実な確保の方法とその容易さ</td><td>（難易度が高いため、関係者間で連携しながら施工することが肝要）</td><td></td></tr>
<tr><td>4 組立て</td><td>－</td><td>ノックアウト式の水抜き孔を現地で割った際に、積みブロックに欠けが発生し、補修が必要となった。</td><td>(2)1)勾配等の出来高の確実な確保の方法とその容易さ</td><td>ノックアウトする部分が欠けづらいように配慮された構造とする。</td><td> 
ノックアウトの例</td></tr>
<tr><td>4 組立て</td><td>－</td><td>設計（ブロック割付図）において鉛直目地部に設置する目地材の幅が考慮されておらず、施工時に目地の厚さの分だけ施工延長が伸びた。</td><td>目地材の幅を考慮した割付図を作成する。</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>4 組立て</td><td>－</td><td>現場打ちコンクリート部分と製品の部分で、外観上の色が異なるため、景観上好ましくなかった。</td><td>景観問題</td><td>・端部用パネルを使用する。</td><td></td></tr>
<tr><td>4 組立て</td><td>－</td><td>施工延長と製品の寸法ピッチ（製品寸法の整数倍）が合わず、現場打ちコンクリートの面積が多くなってしまい、景観上好ましくなかった。</td><td>景観問題</td><td>・（現場打ち）製品面体と同様の化粧型枠にて意匠を合わせる。</td><td></td></tr>
<tr><td>4 組立て</td><td>一般部用、端部用等の積みブロックの種類が少なく、管理が容易だった。</td><td>一般部用や端部用など複数種類の積みブロックがある中で、積みブロックの</td><td>(2)2)積みブロックの種類の確認の方法とその容易さ</td><td>・積みブロックの種類を、製品の分かりやすい部位に分かりやすく表示する。</td><td></td></tr>
</table>

	現場の声		③付加技術のポイント	④付加技術（解決手段）の例	備考
	①好事例	②失敗事例			
		種類を取り違えて施工（積み間違い）してしまったため、手戻りが生じた。			
4 組立て	専用の施工金具（吊り治具）があったため、施工性が良好であった。	一般部用ブロックについては、専用の施工金具（吊り治具）はあったが、端部用ブロック専用のものがなかったため、施工しづらかった。	(2)3)その他、施工の確実性及び施工効率の向上	・施工金具（吊り治具）は、積みブロックの構造に応じて、作業の安全性及び施工性を考慮したうえで、極力最小限の種類について準備する。	
4 組立て	―	施工金具（吊り治具）が重く、使い勝手も悪かった。	(2)3)その他、施工の確実性及び施工効率の向上		
4 組立て	―	積みブロックの種類によって使用する吊り治具が異なる製品であったため、治具の使い分けが煩雑で、施工性が悪かった。	(2)3)その他、施工の確実性及び施工効率の向上	・施工金具（吊り治具）は、積みブロックの構造に応じて、作業の安全性及び施工性を考慮したうえで、極力最小限の種類について準備する。	
4 組立て	積みブロックの重量が小さい場合には、労働安全衛生規則等を遵守する範囲でバックホウによって吊上げることもできて、便利である。	製品の重量が重く、大きな規格のクレーンを使用する必要があったため、クレーンの配置計画に苦慮した。	(2)3)その他、施工の確実性及び施工効率の向上	・バックホウで吊上げが可能な重量の積みブロックを使用すれば、施工機械の種類が減って効率化につながることがある。	
4 組立て	―	積みブロックの構造上、擁壁縦断方向に一方向にしか施工できない製品であったため、施工計画において方向を考慮する必要があった。	その他、積みブロックの構造上の特徴に応じて、配慮事項を記載しておく必要がある。	同左	
5 打設	―		(2)1)胴込コンクリート等を確実に打設し、及び締固める方法とその容易さ（胴込めコンクリートの充填不足のおそれの少ない形状の積みブロックを使用する）	・コンクリート打設面となる開口部を大きくする。 ・コンクリートが積みブロックの隙間から擁壁前面側へ漏れないような工夫を講じる（具体案を記載）	
5 打設	―		(2)2)胴込コンクリート等の打継ぎ面の高さ管理の方法とその容易さ（積みブロックどうしの接合部と胴込めコンクリートの打継ぎ面の高さがそろわないようにする）	・積みブロックの内側に、胴込めコンクリートの打継ぎ位置を示す印をつけておく。	
5 打設	―		(2)3)天端コンクリートを安全に打設する方法とその容易さ	・水抜き孔足場を活用できるような構造にしておく。	

	現場の声		③付加技術のポイント	④付加技術（解決手段）の例	備考
	①好事例	②失敗事例			
			（天端コンクリートの打設を、安全かつ容易に実施可能にする。）	・足場を設置できるようにインサートを設置しておく。 ・足場がなくても天端工を施工できる構造（具体案を記載）。	
5 打設	―	カーブ区間では、積みブロックでカバーできない部分（三角形の形をした現場打ちコンクリート部分）が生じることが構造上避けられず、手間がかかった。	(2)4)曲線区間及び縦断方向の端部の現場打ちコンクリートを安全に打設する方法とその容易さ （カーブ区間や端部の現場打ちコンクリートを、安全かつ容易に実施可能にする。）		
5 打設	―	水平積みのブロックはブロックの安定に優れる場合が多いことから、先行して 2～3 段のブロックを積層し、その後一度に胴込めコンクリートを打設したいと言われる。	(2)1)胴込コンクリート等を確実に打設し、及び締固める方法とその容易さ （胴込めコンクリートの充填不足のおそれの少ない形状の積みブロックを使用する）	積みブロックは一度に積層できるが、胴込めコンクリートの締固めを確実に実施するためには１回のリフト高はブロックの１段分とする。	 リフト高はブロック１段分
5 打設	―	曲線対応の積みブロックは背面板が短い構造が多いが、背面板が短いと裏型枠の設置と水抜パイプの固定が非常に面倒である。	(2)5)裏型枠や水抜きパイプを確実に設置する方法とその容易さ		 水抜き設置用ブロックの例
5 打設	―		（(2)4)に追加） カーブ区間や端部の現場打ちコンクリートを、景観的に違和感のないようにする。	・積みブロックと同じ意匠の化粧型枠を用意しておく。	
6 検査	―	意匠面が擬石模様の場合に、擁壁前面の法線をブロックのどこで取ってよいか分からなかった。	(1)積みブロックは、勾配等の出来形の検査が容易な構造とする。	・積みブロックどうしの位置関係の確認が容易となるように、意匠面の端部等にフラットな面を作っておく。	 意匠面の端部を滑面とした例

(2) 維持管理の確実性及び容易さに関する事項

ここでは、道路土工構造物技術基準[14)]、道路土工構造物点検要領[44)]等における記載内容を踏まえたうえで、維持管理の確実性及び容易さに関連してブロック積擁壁に求められる付加技術を検討した。

道路土工構造物技術基準[14)]において記載されている維持管理の確実性及び容易さについては表 7.1 に示したとおりであり、点検から補修・補強作業等までを念頭に置く必要がある。そのために、構造計画の段階からどのような維持管理を行うかを想定した上で，維持管理設備の設置の有無や範囲，構造なども含め必要な維持管理が確実かつ容易に行えるように計画、設計に反映することが重要である。

ブロック積擁壁については、元来災害復旧等で多く用いられていることから、被災した場合の補修・補強工法として適していると考えられ、したがって、点検や調査に対する付加技術を検討することが有効と考えられる。道路土工構造物点検要領では、道路土工構造物の点検によって得られた情報をもとに、各施設の健全性を診断することとされており、特定道路土工構造物の場合には表 7.4 のとおり４段階に判定が区分することとされている。ここで、シェッド・大型カルバート等定期点検要領[45)]では、Ⅱは予防保全段階とされているのに対して、道路土工構造物点検要領では、Ⅱは経過観察段階とされている。これは、道路土工構造物の特性を考慮した特有の診断の区分である。道路土工構造物点検必携[35)]によれば、Ⅱ経過観察段階に区分された場合の措置について次のようにある。

「Ⅱと診断をした場合は、経過観察の方法を定める必要がある。経過観察の方法は、将来における災害の形態や位置、程度などに応じて適宜定める必要があるが、観察を行う手段、その実施の間隔を定めることが基本である。観察の方法はできる限り、定量的に観察ができる手段を選ぶことが重要である。また、単一の方法と期間によるのではなく、比較的頻度の高い路上からのパトロールによる観察と数カ月から数年に一度のより精度の高い近接目視による観察と地震時や豪雨時といった異常時の観察を組み合わせるなどすることが有効である。」

上記を踏まえると、ブロック積擁壁に関する付加技術の留意点としては、次の２つがあげられる。

着眼点①：できる限り定量的に観察ができること

着眼点②：観察の手段は目的に応じて異なり、それに伴い精度も異なるべきであること

表 7.4　特定道路土工構造物の健全性の診断の区分[44)]

判定区分	判定の内容
I　健全	変状はない、もしくは変状があっても対策が必要ない場合（道路の機能に支障が生じていない状態）
II　経過観察段階	変状が確認され、変状の進行度合いの観察が一定期間必要な場合（道路の機能に支障が生じていないが、別途、詳細な調査の実施や定期的な観察などの措置が望ましい状態）
III　早期措置段階	変状が確認され、かつ次回点検までにさらに進行すると想定されることから構造物の崩壊が予想されるため、できるだけ速やかに措置を講ずることが望ましい場合（道路の機能に支障は生じていないが、次回点検までに支障が生じる可能性があり、できるだけ速やかに措置を講じることが望ましい状態）
IV　緊急措置段階	変状が著しく、大規模な崩壊に繋がるおそれがあると判断され、緊急的な措置が必要な場合（道路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）

【補足】
「II」は、変状が発生しているもののうち、ただちに特定道路土工構造物の大規模な崩壊のおそれはないが、将来的な健全性の確保や効率的な維持修繕のために経過観察が必要な区分である。変状の原因や進行の程度などが不明確なものを含む区分であり、多くの場合は、変状箇所について巡視の他、変状状況を記録し、必要に応じて計測器等によるモニタリングを併用しながら、定期的に変状の進行状況を観察する、あるいは、変状の原因を究明して今後の変状の進行の可能性を予測するために、別途、詳細な調査を実施するなどした上で、その変状の程度に応じて必要な措置を判断していく区分である。
なお、定期的な観察の期間と頻度については道路管理者が変状の程度、進行度合い、対策等の措置の実施状況等に応じて適切に決定するものとする。

点検や調査においては、まず、どの部位の、どのような動きを測るかということを考える必要がある。表 7.5 は、擁壁工指針における日常的な点検の点検項目と着眼点である。これによれば、ブロック積擁壁の躯体に関する点検項目としては、①ひび割れ、②ゆるみ及び③はらみの部材の安全性にかかわる事項、④沈下、⑤移動及び⑥倒れの擁壁の安定にかかわる事項並びに⑦目地の異常の擁壁どうしの接合部にかかわる事項があげられる。

表 7.5　擁壁の日常的な点検時の点検項目と着眼点（日本道路協会 道路土工－擁壁工指針[2)]）

点検項目	着眼点
ひびわれ ゆるみ はらみ	たて型や壁面材等に欠落または崩壊に結びつく著しいひびわれ，ゆるみ，はらみ出し，または角欠け等はないか また、その進展のおそれはないか
沈下 移動 倒れ	倒壊に結びつく著しい沈下、移動、または倒れはないか また，その進展のおそれはないか 背面盛土に段差や亀裂等の異常はないか
目地の異常	壁面の目地のずれ，開き，目違い、または段差はないか また、その程度はどうか 目地からの盛土材のこぼれ出しはないか
洗掘	基礎または本体の周辺が著しく洗堀されていないか また，その進展のおそれはないか
排水 漏水	水抜き孔や目地からの著しい出水，にごり、水量の変化、または排水溝や排水管、水抜き孔に詰まりはないか
鉄筋の露出 腐食	主構造部分の主鉄筋が大きく露出したり，腐食していないか また、その進展のおそれはないか
舗装 付帯構造物等の変状	舗装面に段差やクラック，笠コンクリートや防護柵の基礎等にひび割れ、段差損傷はないか。 隣接構造物の損傷や目地の開き等の変状はないか。

次に、この中から積みブロックが関連する測定の項目を抽出する。表 7.6 は、①から⑦の点検項目について、道路土工構造物点検必携[35)]を参考にこれらを定量的に測定するために使用される一般的な測定機器の例を示したものである。ブロック積擁壁の場合であっても、通常、天端には天端コンクリートとして現場打コンクリートが打設される。これを考慮すれば、積みブロックが測定の対象となる項目は表 7.6 の下線部である。す

なわち、金尺等（鋲間）、下げ振り及び勾配計（スラントルール）が対象として抽出される。

表 7.6　点検項目と測定機器（例）

	指標（例）	測定機器（例）
①ひび割れ	ひび割れ幅 ひび割れ幅の推移	・クラックスケール ・金尺等（鋲間）
②ゆるみ	外観	・目視
③はらみ	前面における相対水平変位 前面における絶対傾斜度	・下げ振り ・勾配計（スラントルール）等
④沈下	天端における相対鉛直変位	・コンベックス
⑤移動	天端における相対水平変位（面外）	・コンベックス
⑥倒れ	前面における絶対傾斜度 天端における相対水平変位（面外）	・勾配計（スラントルール）等 ・コンベックス ・下げ振り
⑦目地の異常	目地における相対水平変位（面内）	・金尺等（鋲間）

ひび割れ幅の測定（例）

傾斜量の測定（例）

沈下量の測定（例）

目地の開きの測定（例）

現場打ちコンクリートの擁壁は、通常は擁壁前面が滑面で築造されるのに対し、ブロック積擁壁の前面には通常意匠が施されていることが両者において異なる。これはプレキャスト製品の製造方法の特徴を活かし、ブロック積擁壁が周辺環境にふさわしい景観性を有することでもって環境との調和を実現しているものである。一方で、維持管理の確実性及び容易さの観点においては、意匠は凹凸を呈した被測定面ということにほかならない。

このような特徴を踏まえたうえで、前述の着眼点に基づいて”できる限り定量的に観察ができる”ということをいかに確実かつ容易にするかに着目して検討する。ここで、できる限り定量的に観察ができるという点においては、現場打ちコンクリートの擁壁と同じく表 7.6 に示したような測定機器が問題なく適用できるということと、適用するためのターゲット等があらかじめ具備されているという２つの観点があると考えられる。

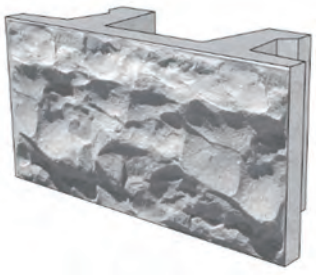


図 7.1　意匠の例

<u>観点①</u> 現場打ちコンクリートの擁壁と同じく測定機器が問題なく適用できる

擁壁前面の角度を正しく測定するためには、勾配計、角度計等を擁壁の前面にあてた際に、勾配計等の底面が擁壁前面と一致している必要がある。

そのために、一定の大きさの測定機器（勾配計等）をあてれば擁壁前面の勾配と一致するように工夫された形状の意匠（図 7.2）、測定機器（勾配計等）の大きさに対応した部分的な滑面が確保されている意匠（図 7.3）等が考えられる。

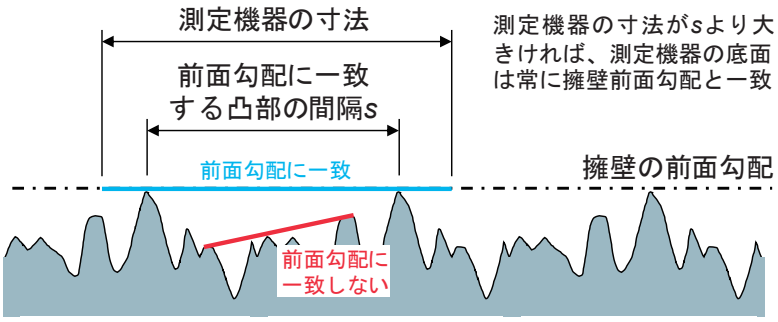


図 7.2　測定機器の底面が擁壁前面勾配と一致する意匠（イメージ）

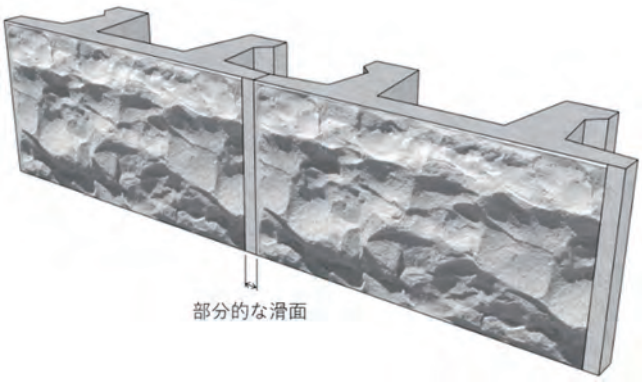
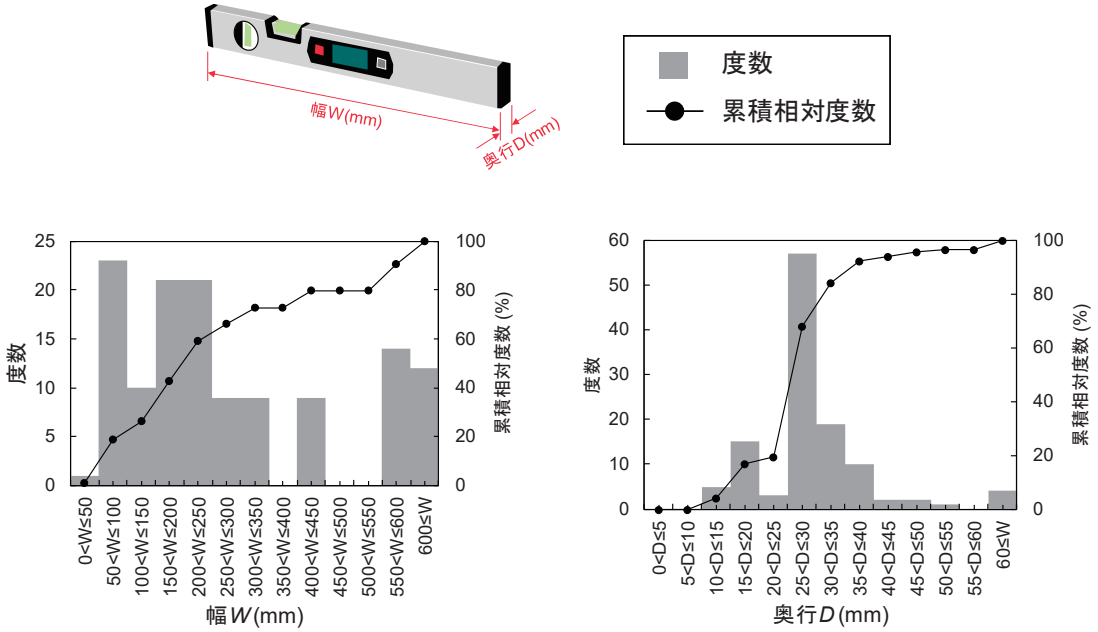


図 7.3　部分的な滑面により面を確保する意匠（イメージ）

このような意匠を設計するうえでは、一般的な勾配計（スラントルール）の寸法の情報を考慮する必要がある。図 7.4 は、市販されているの勾配計（スラントルール）、デジタル角度計等の製品について、ウェブサイト上に掲載されていた 141 の製品の寸法（幅及び奥行）の情報を基に、これをヒストグラムに整理した結果である。これによれば、幅については 350 mm 以下までに山がありこの山で約 70%を占める。奥行については 40 mm 以下までで約 90%を占めている。したがって、この値を参考に前面勾配に一致する凸部の間隔 s を設定しておけば、市販されている多くの勾配計によって擁壁前面の角度を正しく測定することができると考えられる。



(a) 幅 W　　(b) 奥行 D

図 7.4　勾配を測定する機器の寸法の頻度

<u>観点②</u> 測定機器を適用するためのターゲット等があらかじめ具備されている

目地における相対水平変位を測定するためには、測定のターゲットとして目地を挟んで鋲を設置することがある。この測定が容易に行えるような機能を具備するために、鋲の代わりに図 7.5 のようにターゲットとなり得る形状を意匠により形成する方法が考えられる。

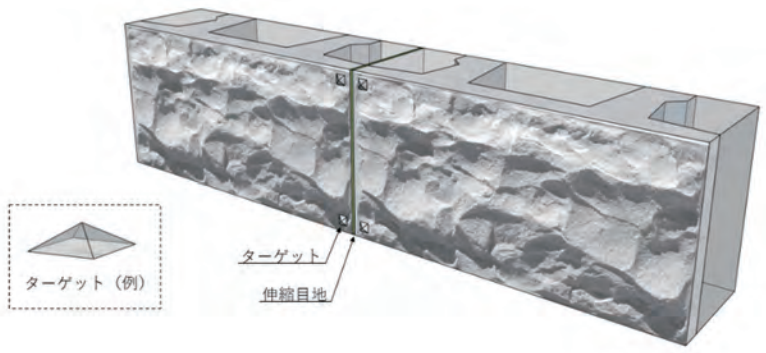


図 7.5　計測のためのターゲットを兼ねた意匠（イメージ）

7.3. 本章のまとめ

本章では、施工、維持管理等の段階においてプレキャストならではの良さを活かし、これを強調していくための検討を行った。7.1 節では設計、施工及び維持管理におけるプレキャスト独自のメリットを活かすための製品の技術開発の今後の方向性を検討した。さらに、7.2 節ではその方向性を基本とし変状事例や実際の失敗事例を整理し、これらに対応するための付加技術のポイント及び具体的な解決手段を提案した。以下に、本章の範囲で得られた知見を示す。

1) プレキャスト部材の機能向上に資する付加技術について、設計、施工及び維持管理の「段階」と、道路管理者、コンサルタント、施工者及び道路利用者並びに経験に応じて細分した「対象者」ごとに、付加技術の開発の方向性を整理した。
2) 整理した方向性に基づいて、施工、維持管理等で実践すべきと考えられる具体的な機能向上の付加技術や留意事項を検討した。施工については、実際の失敗事例等を基に、これらを回避するための付加技術のポイント及び具体的な解決手段を整理した。維持管理については、変状実態、点検精度の実情等を考慮し、擁壁の状態をできる限り定量的に観察することを確実かつ容易にするためのブロックの構造上の工夫について整理した。

8. まとめ

本共同研究で得られた知見を、各章ごとにまとめると次のとおりである。

１章では、擁壁工指針におけるブロック積擁壁に関する記載内容を整理したうえで、本共同研究の目的等を示した。

２章では、NETIS に登録されていた 60 のプレキャスト擁壁製品を抽出し、構造の特徴に基づいて、ブロック積擁壁については擁壁工指針で区分される３タイプに、これ以外については４タイプに類型化した。さらに、適用高さ、前面勾配、積みブロック１個の寸法及び積みブロックの積み方の傾向を統計的に整理した。また、主たる材料に樹脂等が使用されている製品、裏込め材（砕石）を省略し代わりに排水マットを用いる製品、及び部材の構造の特性がブロック積擁壁とは根本的に異にする製品については、擁壁工指針等の考え方に照らして、適用上の留意点を示した。

さらに、タイプ 1-②（積みブロックの控長を 35 cm のまま大型化したブロック積擁壁）については、NETIS に登録されていた製品以外を含めた 39 の製品について詳しく調べた。その結果、同タイプの積みブロックの形状には、π型、背面板型及び通し鉄筋型があるが、このうちπ型と背面板型が大部分を占めること、積みブロックと胴込めコンクリートの一体性確保に寄与していると考えられる構造としては、大まかには、シェアホール、返し及び背面板の３種類があることを確認した。また、タイプ 1-②の積みブロック１個の高さ、面寸法及び胴込めコンクリート比の範囲は、タイプ 1-①のそれと比べると、それぞれ２倍以上、４倍以上及び同程度であることを確認した。

３章では、プレキャスト擁壁の複数の変状事例を基に、躯体の一体性に起因した変状に着目してその形態を分類した。練積の擁壁については特徴的な形態の変状は認められなかったが、空積の擁壁では、①上下のブロックどうしの接合部でずれるモード、②上下のブロックどうしの接合部における鉛直力の伝達によりブロックの控え材が破壊するモード、③壁面がはらみ出すモードの３つの特徴的な変状を確認した。これらの変状のメカニズムについては４章で検討した。

控長を 35cm のまま大型化したブロックを布積としたブロック積擁壁と、間知ブロックを用いた谷積のブロック積擁壁について、既往の地震において震度 5 以上が観測された地域における 92 の事例を抽出し、擁壁工指針の限界状態を基準に擁壁の状態を区分して、これと震度との関係を統計的に分析した。その結果、練積という条件においては両者の変状傾向の間に有意な差は無いことを確認した。すなわち、適切に胴込めコンクリートが配されているということが重要であり、これを踏まえて５章では、胴込めコンクリートの確実な品質の確保を容易とするための積みブロックの構造及び胴込めコンクリ

ートの打設方法の考え方を検討した。

4章では、空積の大型ブロック積擁壁に関する傾斜土槽模型実験及びFEM解析から、突起の無い空積の大型ブロック積擁壁は、地震応答中に積みブロック間でずれと相対的な回転を繰り返す複雑な挙動を示し、接合部でずれる変状形態が擁壁の不安定化につながることを確認した。ブロックどうしの接合部にせん断力を伝達できる突起を設けることで地震による背面地盤の変形量は小さくなるが、ブロックどうしの接合部において曲げモーメントが伝達できないことから、練積に比べると背面地盤を支持する土を留める機能に劣ることを確認した。さらに、突起があってもロッキングによりブロックがかかと立ち及びつま先立ちした状態となる。この傾向は、ブロックの単位体積重量及び控長が小さいほど顕著である。変状事例を踏まえると、かかと立ち等した状況の荷重条件でブロックの部材の安全性照査を行う必要があると考えられる。

5章では、複数のブロック積擁壁躯体の供試体の4点曲げ試験の結果に基づいて、積みブロックの構造や積みブロックどうしの接触の条件に着目し、ブロック積擁壁躯体の破壊の特性すなわちひび割れ発生時の挙動を確認した。これに基づいて、ブロック積擁壁を梁部材と考えた場合のブロックの接合面における部材の安全性の照査では、胴込めコンクリートのみを有効断面として考慮するのがよいことを提案した。

また、3章での結果を受けて胴込めコンクリートの確実な品質の確保を容易とするための方法を検討した。ブロック積工の標準的な手順及び積みブロックの製品実態に鑑みれば、i)胴込めコンクリートの充填不足のおそれの少ない形状の積みブロックを使用する、ⅱ)積みブロックどうしの接合部と胴込めコンクリートの打継ぎ面の高さがそろわないようにするのが良いと考えられる。

6章では、ブロック積擁壁が背面地盤にもたれかかかって安定を確保するという抵抗機構が成立する条件を動的遠心模型実験によって調べた。擁壁背面に作用する側圧係数の分布は、高さ方向に一様ではなく上部ほど大きい傾向が得られた。最上部の側圧係数は、加振中に増減を繰り返しながら最大となった後には大きく減少し、振動応答のピークでの値は一定値に収束した。この振動応答のピーク値が減少し始める点が、擁壁背面に生じる地盤反力に変化が生じる点、つまりもたれる挙動が変化し始める点と考えられる。この点までは、最終的な崩壊のモードが滑動又は転倒のいずれであっても転倒による変形が比較的大きく、この点付近で転倒の安定指標 F_o は概ね1.0程度の値で最大に達する。F_o が 1.0 程度に達するまでは擁壁及び背面地盤には目立った変状が確認されず、残留変位の累積も小さい。さらに滑動の安定指標 F_s が 1.0 程度に達しすべり線が確認された前後でも、F_o の挙動が大きく変化することはない。このことから背面地盤の抵抗特性は、F_o が 1.0 程度に達すると変化し始めているようではあるがその程度は大きくはな

く、さらに F_s が 1.0 に達しすべり線が確認された前後においてもほとんど変化することはないことが確認された。ただし、本検討では底面地盤は良好な地盤を想定している。

7 章では、プレキャスト部材の機能向上に資する付加技術について、設計、施工及び維持管理の「段階」と、道路管理者、コンサルタント、施工者及び道路利用者並びに経験に応じて細分した「対象者」ごとに、付加技術の開発の方向性を整理した。整理した方向性に基づいて、施工、維持管理等で実践すべきと考えられる具体的な機能向上の付加技術や留意事項を検討した。施工については、実際の失敗事例等を基にこれらを回避するための付加技術のポイント及び具体的な解決手段を整理した。維持管理については、変状実態、点検精度の実情等を考慮し、擁壁の状態をできる限り定量的に観察することを確実かつ容易にするためのブロックの構造上の工夫について整理した。

巻末資料には、以上の内容の中から、大型ブロック積擁壁等の設計及び施工の実務において特に参考となると考えられる方法、留意事項等を整理し、ブロック積擁壁の設計・施工に関する参考資料（案）としてとりまとめた。

参考文献

1) 澤松俊寿、宮武裕昭：道路土工におけるプレキャスト擁壁の構造的特徴、第 72 回土木学会年次学術講演会講演概要集（CD-ROM）、III-427、pp.853-854、2017

2) 社団法人日本道路協会：道路土工－擁壁工指針，2012.7

3) 太田直之、杉山友康、岡田勝也、鳥井原誠、山本彰、山田祐樹：間知石による石積壁の地震時変形メカニズムに関する実験的研究、土木学会論文集 F、第 62 巻、2 号、pp.213-225、2006

4) 田中邦熙、新谷洋二、山田清臣：石垣断面解析に FEM を適用するための間詰部の考え方と解析事例、土木史研究、第 18 号、pp.491-501、1998

5) 太田直之、杉山友康、岡田勝也、布川修、鳥井原誠、山本 彰、山田祐樹：正弦波で加振した石積壁の変形挙動に対する静的解析法の適用、土木学会論文集 F、第 65 巻、3 号、pp.346-355、2009

6) 村上友基、沼田宗純、目黒公郎：2 次元拡張個別要素法による石垣構造物の地震動応答解析、土木学会論文集 A1（構造・地震工学）、第 70 巻、4 号、pp.I_506-I_512、2014

7) 酒井久和、山地智仁、小川悟史：不連続変形法に基づく 2001 年芸予地震時の石積み擁壁の崩壊シミュレーション、土木学会論文集 A1（構造・地震工学）、第 65 巻、1 号、pp.575-580、2009

8) 佐藤誠、橋本隆雄、池本敏和、宮島昌克：地震時における間知ブロック積擁壁の安定性に関する実験的研究、土木学会中部支部研究発表会、I-047、pp.93-94、2010

9) 池本敏和、森雅士、宮島昌克、橋本隆雄、村田晶：振動台を用いた間知ブロック積み擁壁の振動特性と破壊機構に関する実験的研究、土木学会論文集 F6（安全問題）、第 67 巻、2 号、pp.107-112、2011

10) 平出務、御子柴正、三上和久：空積みブロック宅地擁壁の地震時挙動と簡易補強法に関する研究、日本地震工学シンポジウム論文集（CD-ROM）、P53-SAT-1、2010

11) 原洋介、長嶋文雄、竹田岳史：ブロック擁壁-砂地盤連成系の擬似立体個別要素解析手法、地震工学研究発表会、第 27 巻、0325、2003

12) 福岡正巳、杉木六郎、今村芳徳、戸田晴彦：コンクリートブロック積みのモデル強度試験研究（その１）、東京理科大学理工学部土木工学科、50 p.、1979

13) 福岡正巳、今村芳徳：コンクリートブロック積みのモデル強度試験研究（その２）、東京理科大学理工学部土木工学科、33 p.、1980

14) 日本道路協会：道路土工構造物技術基準・同解説，2017

15) （公社）全国土木コンクリートブロック協会：熊本地震により被災したブロック積擁壁の調査報告書、2016.12

16) 近藤和仁、金丸和生、松岡智：熊本地震におけるブロック積擁壁の被災状況について、土木学会年次学術講演会講演概要集（CD-ROM）、III-421、pp.841-842 、2017
17) 尾崎正樹、近藤和仁、澤松俊寿、小出央人、佐藤登、ブロック積擁壁の地震による被災状況について、日本道路会議論文集（CD-ROM）、第 33 回、（3）-2 建設・施工技術（土工）部門、4008、2019
18) 気象庁：災害時地震速報 平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震、2004.11
19) 気象庁：過去の推計震度分布図、2004 年 10 月 23 日 17 時 56 分新潟県中越地方 M6.8(https://www.data.jma.go.jp/svd/eew/data/suikei/200410231756_371/200410231756_371_1.html)
20) 気象庁：災害時地震・津波速報 平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震、2007.8
21) 気象庁：過去の推計震度分布図、2007 年 7 月 16 日 10 時 13 分新潟県上中越沖 M6.8(https://www.data.jma.go.jp/svd/eew/data/suikei/200707161013_379/200707161013_379_309.html)
22) 気象庁：災害時地震・津波速報 平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震、2011.8
23) 気象庁：気象庁技術報告 平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震調査報告 第 I 編、2012.12
24) 気象庁：過去の推計震度分布図、2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分三陸沖 M7.9(https://www.data.jma.go.jp/svd/eew/data/suikei/201103111446_288/201103111446_288_2.html)
25) 気象庁：災害時地震報告 平成 28 年（2016 年）熊本地震、2016.12
26) 気象庁：気象庁技術報告 平成 28 年（2016 年）熊本地震調査報告、2018.9
27) 気象庁：過去の推計震度分布図、2016 年 4 月 14 日 21 時 26 分熊本県熊本地方 M6.4(https://www.data.jma.go.jp/svd/eew/data/suikei/201604142126_741/201604142126_741_505.html)
28) 気象庁：過去の推計震度分布図、2016 年 4 月 16 日 1 時 25 分熊本県熊本地方 M7.1(https://www.data.jma.go.jp/svd/eew/data/suikei/201604160125_741/201604160125_741_505.html)
29) 気象庁：災害時地震報告 平成 30 年北海道胆振東部地震、2019.2
30) 気象庁：過去の推計震度分布図、2018 年 9 月 6 日 3 時 8 分胆振地方中東部 M6.7(https://www.data.jma.go.jp/svd/eew/data/suikei/201809060308_146/201809060308_146_2.html)
31) 気象庁：報道発表 令和 3 年 2 月 13 日 23 時 08 分頃の福島県沖の地震について、2021.2

32) 気象庁：過去の推計震度分布図、2021 年 2 月 13 日 23 時 8 分福島県沖 M7.1(https://www.data.jma.go.jp/svd/eew/data/suikei/202102132308_289/202102132308_289_2.html)
33) Fumio Tatsuoka, Makoto Sakamoto, Taizo Kawamura and Shinji Fukushima: Strength and deformation characteristics of sand in plane strain compression at extremely low pressures, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol. 26, No. 1, pp. 65-84, 1986
34) M. Sabermahani, A.Ghalandarzadeh, A.Fakher: Experimental study on seismic deformation modes of reinforced-soil walls, Geotextiles and Geomembranes, Vol. 27, pp. 121–136, 2009.
35) 公益社団法人日本道路協会：道路土工構造物点検必携、p.165、2018
36) 澤松俊寿、佐藤登、新田武彦、宮武裕昭：プレキャスト擁壁の変状形態に関する一考察、土木学会年次学術講演会講演概要集（CD-ROM）、III-454、pp.907-908 、2018
37) 伊藤忠テクノソリューションズ：Soil plus 2017 Dynamic manual、pp.2-22 - 2-31、2017
38) T. Imai, K. Tonouchi：Correlation of N-Value with S-wave Velocity and Shear Modulus, Proceedings of the 2nd ESOPT, pp. 67-72, 1982
39) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計編、pp.256-264、2012
40) 鵜飼恵三、蔡飛：新版地盤 FEM 解析入門、pp.124-126、2013
41) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説（上巻）、pp.522-523、2018
42) 香取慶一：コンクリート接合部のせん断力伝達機構に及ぼす表面形状の影響、東京工業大学報告番号乙第 3356 号、325 p.、1999
43) 豊澤康男，市川貴之，末政直晃，三田地利之，伊藤 和也：遠心場可動土留め装置を用いた壁面土圧の発生機構に関する基礎的研究，土木学会論文集，No.806／Ⅲ73、pp.129-141、2005.12
44) 国土交通省道路局：道路土工構造物点検要領，2017.8 (https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/ty_h2908.pdf)
45) 国土交通省道路局：シェッド、大型カルバート等定期点検要領，2019.2 (https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/yobo4_3.pdf)

ブロック積擁壁の設計・施工に関する参考資料(案)

目　次

1.　はじめに ..... 参 1
1.1. 本資料の目的 ..... 参 1
1.2. 本資料の対象 ..... 参 2
2.　設計 ..... 参 4
2.1. ブロック積擁壁の設計 ..... 参 5
2.1.1. 構造の基本 ..... 参 5
2.1.2. ブロックどうしの接合部の構造 ..... 参 8
2.1.3. 躯体背面の構造（裏込め材） ..... 参 15
2.2. 分割型のプレキャストコンクリートブロックを接合する構造の擁壁の設計 ..... 参 17
2.2.1. 構造の基本 ..... 参 17
2.2.2. ブロックどうしの接合部の構造 ..... 参 18
3.　施工 ..... 参 20
3.1. 製造・検査に関連する事項 ..... 参 21
3.2. 運搬に関連する事項 ..... 参 22
3.3. 仮置きに関連する事項 ..... 参 23
3.4. 組立てに関連する事項 ..... 参 25
3.5. コンクリート打設に関連する事項 ..... 参 31
3.6. 検査に関連する事項 ..... 参 34
参考文献 ..... 参 35

1.　はじめに

1.1.　本資料の目的

土構造物は、材料、設計、施工等に非常に大きな不確実性を有することから、計画、設計、施工及び供用の各段階にわたり、段階的に不確実性を低減させていくことが基本となり、鋼構造物やコンクリート構造物に比べてその整合が特に施工と供用段階に依存する部分が大きい。例えば、通常は設計の段階では基礎地盤の情報や裏込め材の情報は非常に限られており、土質分類から推定された仮定の値を用いて設計が行われることが多い。これは設計の時点では現地での地盤調査が難しいこと、設計前の段階で調査できなくとも、続く施工の段階での追加調査などでより詳細な情報を把握することが可能であり、かつ施工段階での修正設計や追加対策の実施によりフォローすることで、段階的に不確実性を低減するという土構造物の基本を踏まえて確立したスキームである。

ブロック積擁壁を含むプレキャストコンクリート製品は、現場打ちコンクリートと比べて工期短縮、省人化等の優位性が期待されている。現場打ちコンクリート擁壁とプレキャストコンクリート擁壁は、その目的や構造については多くの部分が共通しているが、築造のプロセスには非常に大きな差異が見られる。例えばプレキャスト擁壁は、製品のデザインの段階では適用される地盤条件について、ある範囲の想定が行われ、その想定範囲での適用を前提とした構造となっている。現場打ち擁壁では、事業の設計の段階では現地の地盤条件に合わせて構造諸元を決めるが、プレキャストでは、現地の条件と製品のデザインで想定した適用範囲との整合を図りつつ、製品を選定することとなる。また施工段階では仮置きや運搬といった特異な工程が存在するほか、こうした施工方法が設計段階での前提となる場合もあり、これらの項目についても製品の選定において考慮するべき前提となる。しかし上述のとおり、プレキャスト製品の選定が行われる事業の設計段階では様々な情報の量と質は限られており、かつ現場打ちならば施工以降の段階で対応しうる課題への対応が、すでに製造されたプレキャスト製品では困難となる場合もあるなど、現場打ち以上に事業全体を見通した計画性が求められるものである。

ブロック積擁壁の設計・施工に関する参考資料（案）（以下「本資料」という。）は、ブロック積擁壁の主に設計及び施工の留意点をとりまとめている。単に設計段階で設計に携わる技術者、施工段階で施工に携わる技術者が留意する点にとどまらず、発注者が事業全体を通じて、設計者が施工段階を見通し、及び施工者が設計段階での前提を考慮するための参考としてとりまとめたものである。その内容には、大型ブロック積擁壁の設計・施工・維持管理の高度化に関する共同研究報告書の本編（以下「本編」という。）の中から、実務において特に参考になると考えられる方法、留意事項等を取り込んだ。

１章では、本資料の目的と対象を明確にした。

２章では、ブロック積擁壁の設計について、本共同研究の成果として得られた評価手法の考え方や留意事項を含めてとりまとめた。その際に、実務における理解や活用が容易となるように道路土工－擁壁工指針（平成 24 年版）[1)]（以下「擁壁工指針」という。）の関連する記載を引用して併記した。

３章では、ブロック積擁壁の施工について、実際の失敗事例等を基にこれらを回避するためのポイント等をとりまとめた。

なお、本資料は大型ブロック積擁壁の設計・施工・維持管理の高度化に関する共同研究の成果を基にして、実務において参考となると考えられる方法等を整理したものではあるが、必ずしもすべてが確立されたものではない。したがって、関連する技術基準等に準拠するのはもちろんのこと、本編の関連する部分についても十分に参照し、取扱いにあたっては前提条件等に十分に注意が必要である。

1.2. 本資料の対象

本資料では、擁壁工指針における通常のブロック積擁壁及び大型ブロック積擁壁（表 1.1）を対象とし、この２つを総称してブロック積擁壁としている。なお、基本的な考え方や留意事項のいくつかは、ブロック積擁壁以外のプレキャストコンクリートブロックを積層する逆 T 型擁壁や重力式擁壁（本編２章のタイプ 4-③）にも参考とすることができると考えられる。

本資料で使用する用語の定義等については、特段の断りのない限り擁壁工指針における用語と同じ意味で使用している。なお、表 1.1 のブロック間の結合構造や製品寸法によるブロック積擁壁の分類等については、本編における略称を本資料においても使用することとし、［　］内にこれを示している。

表 1.1　ブロック積擁壁の分類と設計方法（日本道路協会 道路土工－擁壁工指針解表 5-6[1] に、本資料における分類の略称（[ ]内）を加筆）

形式＼項目		ブロック間の結合構造や製品寸法によるブロック積擁壁の分類	構造特性	設計方法
ブロック積擁壁	通常のブロック積擁壁 [タイプ 1]	通常のブロック積(石積)擁壁 [タイプ 1-①]	・原則として胴込めコンクリートを設ける練積で、水平方向の目地が直線とならない谷積等で積み上げる形式	・表 5-3 を用いた「経験に基づく設計法」による。
		積みブロックの控長を35cm のまま大型化したブロック積擁壁 [タイプ 1-②]		
	大型ブロック積擁壁	通常のブロック積擁壁(石積)擁壁に準じた構造の大型ブロック積擁壁 [タイプ 2]	・控長の大きい大型積みブロックで、ブロック間の結合に、かみ合わせ構造や突起等を用いたり、胴込めコンクリートで練積にした形式	・解表 5-7 を用いる。 ・直高が 5m 以上は支持に対する安定の照査を行う。
		もたれ式擁壁に準じた構造の大型ブロック積擁壁 [タイプ 3]	・控長の大きい大型積みブロックで、鉄筋コンクリートや中詰めコンクリート等を用いてブロック間の結合を強固にした形式	・解表 5-8 を用いて、もたれ式擁壁に準じて擁壁の安定性及び部材の安全性を照査する。

2.　設計

擁壁工指針では、通常のブロック積（石積）擁壁の適用にあたっては、擁壁工指針 168 頁のとおり「背面の地山が締まっている切土部や比較的良質な裏込め材料で十分な締固めがされる盛土部等土圧が小さい場合に適用できる」とされており、その設計にあたっては「経験に基づく設計法」を用いることとされている。すなわち、背面地盤が安定していることを前提として、設計計算によらず擁壁躯体を表 1.1 の構造特性のようにし、及び「経験に基づく設計法」によりあらかじめ定められた背面勾配、直高、控長等の仕様にしたがって形状を設定するものである。これは、通常のブロック積（石積）擁壁に準じた構造の大型ブロック積擁壁[タイプ 2]においても同様である。

「経験に基づく設計法」は、従来からの経験に基づいて定められた方法である。そのため、この方法で構築された通常のブロック積擁壁[タイプ 1]の実績は豊富な一方で、擁壁躯体の構造の条件が限定されることから、新技術の開発や導入がしづらいということも考えられる。

したがって本資料では、大型ブロック積擁壁等の新技術を開発及び導入するうえにおいても参考となるように、擁壁工指針に記載されているブロック積擁壁の構造仕様に鑑みて、ブロック積擁壁の構成要素を細分化したうえでそれら構成要素に要求されると考えられる機能を整理した。

また、現場において適正な運用が図られるように、本編で得られたブロック積擁壁の適用上の留意事項についても記載した。

＜本資料の 2.1.1 項に関連する擁壁工指針の記載＞

5－7－4　ブロック積（石積）擁壁

（2）　通常のブロック積（石積）擁壁は、以下の「経験に基づく設計法」により行うものとする。

1)　積みブロックは、擁壁の要求性能を満足するための強度、施工性、耐久性等を有していなければならない。

・・・(略)・・・

（3）　大型ブロック積擁壁は、ブロック間の結合構造等に応じて、通常のブロック積擁壁に準じた構造と考えられる場合には、通常のブロック積擁壁と同様に設計を行い、もたれ式擁壁に準じた構造と考えられる場合には、もたれ式擁壁に準じて擁壁自体の安定性及び部材の安全性の照査を行ってよい。・・・(略)・・・

1)　大型積みブロックは、擁壁の要求性能を満足するための強度、施工性、耐久性等を有していなければならない。

(2) 1)　積みブロックは、擁壁の要求性能を満足するための強度、施工性、耐久性等を有していなければならない。このため、積みブロックの材料及び品質規格については、「4－4－2 (2)　積みブロックの材料及び製品規格」に示す事項に従うものとする。

・・・(略)・・・

(3) 1)　大型積みブロックは、擁壁の要求性能を満足するための強度、施工性、耐久性等の性能を有していなければならない。このため、大型積みブロックの材料及び品質規格については、「4－4－2（2）積みブロックの材料及び製品規格」に示す事項に従うものとする。また、大型ブロック積擁壁の設計に際しては、事前に大型積みブロックの強度及びブロック間の結合部強度等を検討しておく必要がある。

2.1.　ブロック積擁壁の設計

2.1.1.　構造の基本

＜ポイント＞

(1) ブロック積擁壁の構造は、(2)から(5)を満足するように設計する。

(2) 積みブロック及び大型積みブロック（以下「積みブロック等」という。）が、少なくとも吊上げ時、運搬時、設置時及び胴込めコンクリート打設時に生じる応力に対して、安全かつ設計の前提とする躯体の状態が確保される。

(3) 躯体を構成する積みブロック等どうしが一体となって荷重に抵抗する。

(4) 背面地盤からの荷重が躯体背面に一様に伝達される。

(5) 基礎コンクリートは、ブロック積擁壁に作用する荷重を確実に基礎地盤に伝達できる構造とする。

(1)について

ブロック積擁壁の背面勾配及び直高を擁壁工指針表 5-3 及び解表 5-7 により定めるにあたって、ブロック積擁壁に求められると考えられる機能を(2)から(4)に示した。すなわち、(2)は積みブロックに対して求められる機能、(3)は積みブロックどうしの接合部に対して求められる機能、(4)は躯体の背面に対して求められる機能、及び(5)は基礎コンクリートに求められる機能である。

(2)について

擁壁工指針では、通常のブロック積擁壁[タイプ 1]の場合には「積みブロックは、擁壁の要求性能を満足するための強度、施工性、耐久性等を有していなければならない。」とされており、これは大型ブロック積擁壁[タイプ 2, 3]の場合にも同じ考え方である。ブロック積擁壁は、現場において積みブロック等を積み上げて構築するものであり、施工の各過程において安全を確保できるとともに、ひび割れ等が生じない構造とする必要がある。このため積みブロックは、擁壁工指針「4－4－2　コンクリート」の 4)コンクリート積みブロック等に示す事項に従う必要がある。また、積みブロック等が薄肉構造の場合には、打設した胴込めコンクリートの側圧に対して積みブロックにひび割れ等が生じないような構造とし、施工においては設計で前提としたコンクリートの打設高さ、打設順序等の範囲で胴込めコンクリートを打設する。

(3)について

ブロック積擁壁の躯体を構成する積みブロック等は、積みブロック等どうしが一体となって荷重に抵抗する構造とする必要があり、2.1.2 項に具体的な構造を記載している。

(4)について

ブロック積擁壁の躯体に生じる応力が局所的に増大することを防ぐために、躯体の背面に作用する荷重を分散できる構造とする必要がある。

(5)について

基礎コンクリートは、ブロック積擁壁に作用する荷重を基礎地盤に伝達する機能を担うものである。基礎コンクリートは、設計上は擁壁の一部として扱われその底面は擁壁

の底面に相当する。よって、基礎コンクリートの厚さは、擁壁底面地盤からの反力等の荷重に抵抗できるように部材として必要な厚さを確保する。基礎コンクリートの設計は、擁壁工指針「5-7-2　重力式擁壁」の(3)2)つま先版に従うのがよい。

擁壁工指針では、従来から通常のブロック積擁壁[タイプ 1] については、適用する背面地盤の条件を「背面の地山が締まっている切土部や比較的良質な裏込め材料で十分な締固めがされる盛土部等土圧が小さい」条件に限定したうえで、経験に基づく設計法に従って直高や背面勾配が設定されてきた。このようにすることで滑動及び転倒に対する安定を確保し、さらに支持に対する安定については所定の根入れ深さを確保し、基礎地盤の状態等を経験的に把握することで対応されてきたもと考えられる。しかし、基礎地盤の条件によっては支持力不足による変状事例が見受けられることから、ブロック積擁壁を斜面地盤上、ゆるい砂質土地盤若しくは軟らかい粘性土地盤上に設ける場合、又は通常のブロック積擁壁に準じた構造の大型ブロック積擁壁[タイプ 2]でその直高が 5m を超える場合には、支持に対する安定の照査を行うこととされている。

基礎コンクリートの底面は、基礎地盤に密着し、十分なせん断抵抗を有するように、基礎地盤の状態に応じ適切な処理を行う。一般に基礎地盤が砂質地盤等の場合には、基礎地盤上に砕石等を 10～20cm 程度に敷き均し、十分な転圧を行った上に基礎コンクリートを設置するのがよい。

＜本資料の 2.1.2 項に関連する擁壁工指針の記載＞

5－7－4　ブロック積（石積）擁壁

（2）　通常のブロック積（石積）擁壁は、以下の「経験に基づく設計法」により行うものとする。

1)　積みブロックは、擁壁の要求性能を満足するための強度、施工性、耐久性等を有していなければならない。

・・・(略)・・・

（3）　大型ブロック積擁壁は、ブロック間の結合構造等に応じて、通常のブロック積擁壁に準じた構造と考えられる場合には、通常のブロック積擁壁と同様に設計を行い、もたれ式擁壁に準じた構造と考えられる場合には、もたれ式擁壁に準じて擁壁自体の安定性及び部材の安全性の照査を行ってよい。また、次の 1)、2)、3)によるものとする。

1)　大型積みブロックは、擁壁の要求性能を満足するための強度、施工性、耐久性等を有していなければならない。

(2) 1)　積みブロックは、擁壁の要求性能を満足するための強度、施工性、耐久性等を有していなければならない。このため、積みブロックの材料及び品質規格については、「4－4－2 (2)　積みブロックの材料及び製品規格」に示す事項に従うものとする。

・・・(略)・・・

(3) 1)　大型積みブロックは、擁壁の要求性能を満足するための強度、施工性、耐久性等の性能を有していなければならない。このため、大型積みブロックの材料及び品質規格については、「4－4－2（2）積みブロックの材料及び製品規格」に示す事項に従うものとする。また、大型ブロック積擁壁の設計に際しては、事前に大型積みブロックの強度及びブロック間の結合部強度等を検討しておく必要がある。

2.1.2.　ブロックどうしの接合部の構造

＜ポイント＞

(1) ブロックどうしの接合部の構造は(2)から(4)による。

(2) 通常のブロック積擁壁の場合には、原則として(5) 1)及び(5) 2)による。

(3) 通常のブロック積(石積)擁壁に準じた構造の大型ブロック積擁壁の場合には、(5) 2)又は(5) 3)による。

(4) もたれ式擁壁に準じた構造の大型ブロック積擁壁の場合には、2.2 節による。

(5) 1) 積みブロックの積み方は、水平方向の目地が直線とならない谷積等とする。

2) 胴込めコンクリートを使用して練積とし、その設計基準強度を 18N/mm^2 以上とする。
3) 大型積みブロックどうしの接合部は、かみ合わせ構造等とする。

(1) について

躯体を構成する積みブロック等どうしが一体となって荷重に抵抗するためのブロックどうしの接合部の構造については、擁壁工指針ではブロック積擁壁の分類ごとに異なる構造仕様等が示されており、(2)から(4)のようになる。なお、表 2.1 は後述する(2)から(4)の内容を擁壁工指針「解表 5-6　ブロック積擁壁の分類と設計方法」に加筆したものである。

(2) について

通常のブロック積擁壁[タイプ 1]の場合には、原則として 1) 積みブロックの積み方は、水平方向の目地が直線とならない谷積等とし、及び胴込めコンクリートを使用して練積とし、その設計基準強度を 18 N/mm^2 以上とすることとされている。

ここで、通常のブロック積擁壁[タイプ 1]は、積みブロック及び現場打設するコンクリートが一体となって荷重に抵抗する構造であることが前提となる。したがって、積みブロックと裏込めコンクリートが一体となって荷重に抵抗するという点においては、少なくとも裏込めコンクリートと接する面が一様に平滑な構造の積みブロックを使用することは避けるべきと考えられる。また、積みブロックと胴込めコンクリートについてもこれらが一体となっている必要があることは言うまでもない。本編 2.2 節の製品の実態調査によれば、積みブロックと胴込めコンクリートの一体性の確保を目的とした構造としては、シェアホール、返し、背面板等があった。なお、いずれの方法であっても確実な一体性が確保されるためには、積みブロックの前面板及び控え材の接合部が、耐久性の観点も含めて長期にわたり確実にその機能を発揮できるようになっている必要がある。なお、これらについては、練積の通常のブロック積擁壁に準じた構造の大型ブロック積擁壁[タイプ 2]においても、該当又は類似するような構造の場合には同様に留意する必要がある。

また、擁壁工指針では、積みブロックの控長を 35cm のまま大型化したブロック積擁壁[タイプ 1-②]においても、積みブロックの積み方は「原則として胴込めコンクリートを設ける練積で、水平方向の目地が直線とならない谷積等」とすることとされているが、これは、通常のブロック積(石積)擁壁[タイプ 1-①]の経験に基づいて定められたものと考えられる。一方で、本編 3.2 節の最近の地震による被災事例を統計的に分析した結果

によると、練積という条件の限りにおいては、タイプ 1-①において間知ブロックを谷積にした場合と、タイプ 1-②において控長を 35cm のまま大型化したブロックを布積にした場合において、両者の変状傾向に有意な差は認められなかった。タイプ 1-②については、上述のとおり積みブロックと胴込めコンクリートの一体性の確保のためにシェアホール、返し、背面板等が設けられている。さらに、タイプ 1-②の市場製品においては、本編 2.2.2 項(3)のようにタイプ 1−①と同程度の量の胴込めコンクリートが用いられている。このような構造とすることによって、タイプ 1−①と同等以上の積みブロックどうしの一体性が確保されていたものと考えられる。

つまり、積みブロックどうしが一体となるためには、積みブロックが胴込めコンクリートと一体化しやすい形状であることのほか、適切に胴込めコンクリートが配されていることが重要であり、したがってタイプ 1-②において控長を 35cm のまま大型化したブロックを布積にする場合においても、タイプ 1-①において間知ブロックを谷積とした場合と同等の″量と品質″の胴込めコンクリートが求められる。また、胴込めコンクリートの確実な品質の確保を容易とするために、積みブロックの構造及び胴込めコンクリートの打設方法は、次のような考え方によって行うのがよいと考えられる。

i)胴込めコンクリートの充填不足のおそれの少ない形状の積みブロックを使用する（図 2.1）。

ii)積みブロックどうしの接合部と胴込めコンクリートの打継ぎ面*の位置がそろわないようにする（図 2.2）。

i)については、開口部が大きくかつ胴込め部の空間の形状が単純な積みブロックを使用することで、胴込めコンクリートの充填不足の回避が容易となると考えられる。ii)については、ブロックどうしの接合部の位置を考慮して、胴込めコンクリート打継ぎ面の高さを適切に管理すれば、打継ぎ面の影響が低減され確実な施工品質を確保することができると考えられる。

なお、本節の内容は、本編 3.2 節の変状実態調査の結果に基づき、また本編 2.2 節の製品実態で示したような市場製品相当の構造の積みブロックが使用されることを念頭においたうえで最低限留意すべき事項を示したものであり、個別製品の適用にあたっては、本編 2.2 節や 3.2 節についても参考にし、判断する必要がある。

本編 3.2 節のとおり、間知ブロックを布積としたブロック積擁壁については、変状事例分析の対象としていないことに留意が必要である。

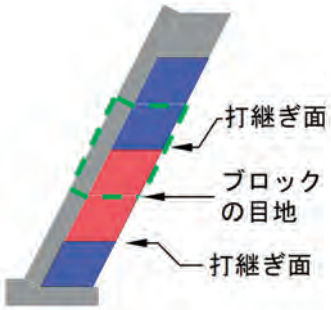
---

* ″打継ぎ″は、硬化したコンクリートに接して新たにコンクリートを打込むこと、これに対して″打重ね″は、先に打設した硬化途中のコンクリートに新しいコンクリートを打込むことを指す用語である。

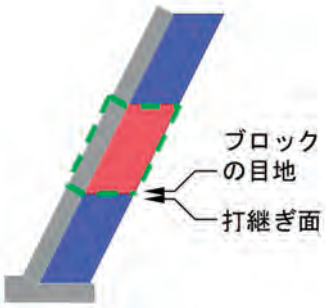
(a)間知ブロックを谷積としたブロック積擁壁

(b)控長を 35cm のまま大型化したブロックを布積としたブロック積擁壁（例としてπ型を示している）

図 2.1　胴込めコンクリートの形状（胴込めコンクリートのリフト高は、標準的な値）



(a)ブロックどうしの接合部と胴込めコンクリートの打継ぎ面が、重ならないようにずらす



(b)ブロックどうしの接合部と胴込めコンクリートの打継ぎ面が、一致

図 2.2　ブロックどうしの接合部と打継ぎ面の関係

表 2.1　ブロック積擁壁の分類と設計方法（日本道路協会 道路土工－擁壁工指針解表 5-6[1] に太枠部分を加筆）

項目 形式	控長	ブロック間の結合構造や製品寸法によるブロック積擁壁の分類	構造特性	積みブロック等どうしが一体となって荷重に抵抗する構造の条件（解釈）	設計方法
通常のブロック積擁壁 [タイプ 1-]	35 cm 以上	通常のブロック積(石積)擁壁 [タイプ 1-①]	・原則として胴込めコンクリートを設ける練積で、水平方向の目地が直線とならない谷積等で積み上げる形式	原則として 1)及び 2)による。 1)　積みブロックの積み方は、水平方向の目地が直線とならない谷積等とする。 2)　胴込めコンクリートを使用して練積とし、その設計基準強度を 18 N/mm^2 以上とする。 布積とする場合には、胴込めコンクリートの確実な品質の確保を容易とするために i)及び ii)に留意した構造とする。 i)胴込めコンクリートの充填不足のおそれの少ない形状のブロックを使用する ii)ブロックどうしの接合部と胴込めコンクリートの打継ぎ面の高さがそろわないようにする	・表 5-3 を用いた「経験に基づく設計法」による。
		積みブロックの控長を 35cm のまま大型化したブロック積擁壁 [タイプ 1-②]			
大型ブロック積擁壁	50 cm 以上	通常のブロック積擁壁(石積)擁壁に準じた構造の大型ブロック積擁壁 [タイプ 2]	・控長の大きい大型積みブロックで、ブロック間の結合に、かみ合わせ構造や突起等を用いたり、胴込めコンクリートで練積にした形式	2)又は 3)による。 2)　胴込めコンクリートを使用して練積とし、その設計基準強度を 18 N/mm^2 以上とする。 3)　大型積みブロックどうしの接合部は、かみ合わせ構造等とする。	・解表 5-7 を用いる。 ・直高が 5m 以上は支持に対する安定の照査を行う。
		もたれ式擁壁に準じた構造の大型ブロック積擁壁 [タイプ 3]	・控長の大きい大型積みブロックで、鉄筋コンクリートや中詰めコンクリート等を用いてブロック間の結合を強固にした形式	2.2 節による。	・解表 5-8 を用いて、もたれ式擁壁に準じて擁壁の安定性及び部材の安全性を照査する。

(3) について

通常のブロック積(石積)擁壁に準じた構造の大型ブロック積擁壁[タイプ 2]の場合には、擁壁工指針では練積と空積の場合がある。前者は胴込めコンクリートを使用して練積とし、その設計基準強度を 18 N/mm^2 以上とする、後者は大型積みブロックどうしの接合部は、かみ合わせ構造等とすることとなっている。以下に、練積及び空積それぞれの留意事項を示す。

・練積の留意事項

通常のブロック積擁壁(石積)擁壁に準じた構造の大型ブロック積擁壁[タイプ 2]のうち、練積構造の場合の構造上の留意事項については、基本的には(2)の記載内容と同様である。

・空積の留意事項

通常のブロック積擁壁（石積）擁壁に準じた構造の大型ブロック積擁壁[タイプ 2]の空積構造に関する最近の地震、豪雨等による変状事例では、ブロックどうしの接合部の突起が損傷してずれ、のり面の安定性に影響を及ぼすような事例があった。このような観点から、空積の大型ブロック積擁壁の接合部は、かみ合わせ等によるせん断抵抗の高い構造とすることが望ましい。また、接合部のずれに対する抵抗を増す構造としては、大型積みブロックを水平に積み上げる構造よりも、接合面が背面勾配に対して直角等となるように積み上げる構造（勾配積）とするのがよい。なお、擁壁工指針では、大型積みブロック間のかみ合わせ抵抗のない空積による大型ブロック積擁壁の構築は行ってはならないこととされている。

空積の大型ブロック積擁壁は、接合部において曲げモーメントを伝達しない構造であるため、接合部がかみ合わせ構造であったとしても練積の大型ブロック積擁壁と比較すると安定に劣る場合がある。また、水平方向の作用荷重によって個々の大型積みブロックが転倒して落下するおそれもある。したがって、空積の大型ブロック積擁壁を採用する場合には、背面地盤等の条件、隣接する施設への被害の可能性が考えられる場所への適用等について、特に慎重に検討することが望ましい。

空積の大型ブロック積擁壁の場合、地震時にブロックの接合部において大型積みブロックがロッキングし、大型積みブロックが地震応答中にかかと立ち又はつま先立ちになる場合がある。2016 年熊本地震では、大型積みブロックがかかと立ちしたことで薄肉構造の大型積みブロックが損傷し、のり面の安定に影響を及ぼすような事例が認められた。したがって、積みブロック等どうしが一体となって荷重に抵抗するうえでは、大型積みブロックがかかと立ち又はつま先立ちした状況においても部材の安全性が確保されている必要がある。

・練積及び空積に共通する留意事項

擁壁工指針の「解表 5-7　控長に応じた背面勾配と直高の関係（m）」は、ブロック積擁壁の変状事例を基本とし、これに無筋コンクリートの単位体積重量を想定したうえで工学的判断を加えて擁壁の背面勾配、直高及び控長の関係を設定したものであると考えられる。したがって、擁壁の躯体として扱う範囲が無筋コンクリートの単位体積重量を大きく下回るような重量の大型積みブロックの場合には、擁壁工指針の解表 5-7 を使用することは適当ではない。この観点から、中詰め材の一部又は全部に土砂等を用いる場合には、少なくとも使用する中詰め材の物理特性、大型積みブロックの形状・寸法及び締固めの方法を考慮して、適切に中詰め材の単位体積重量を設定する。

＜本資料の 2.1.3 項に関連する擁壁工指針の記載＞

5－7－4　ブロック積（石積）擁壁

（2）　通常のブロック積（石積）擁壁は、以下の「経験に基づく設計法」により行うものとする。

・・・(略)・・・

5)　裏込め材は、透水性の良い材料を使用するものとする。

・・・(略)・・・

（3）　大型ブロック積擁壁は、・・・(略)・・・次の 1)、2)、3)によるものとする。

・・・(略)・・・

3)　大型ブロック積擁壁の背面には裏込め材を設置するものとし、その設計は通常のブロック積擁壁に準じてよい。

・・・(略)・・・

(2) 5)　裏込め材は、擁壁背面の水を外側に排出し、ブロック積（石積）擁壁にかかる水圧を減じ、擁壁背面の沈下を防ぐとともに、湿潤化に伴う土のせん断抵抗力の低下により土圧が増大するのを防ぐために設けるものである。したがって、裏込め材は砕石等の透水性の良い材料を用いなければならない。・・・(略)・・・

5－9－2　表面排水工及び裏込め排水工

（3）　排水材料は、排水層としての性能、耐久性、環境条件、設計方法、施工方法、擁壁の構造等を十分に検討し、適切な材料を用いる。

（3）　排水材料

・・・(略)・・・排水層の材料としては、従来からの砂利や砕石、割栗石等の石材が一般的であるが、人工材料（例えばジオテキスタイル）を用いた擁壁用透水マットも使用されてきている。・・・(略)・・・ただし、ブロック積擁壁等はその構造の安定上、裏込め材に割栗石や砕石を用いることを前提としているため、その代替として透水マットを用いてはならない。・・・(略)・・・

2.1.3.　躯体背面の構造（裏込め材）

＜ポイント＞

躯体の背面には裏込め材を設け、その材料に砕石等を使用する。

2.1.1(4)を達成できると考えられる標準的な手法である。裏込め材として適した材料には砕石のほか割栗石がある。裏込め材には、擁壁背面の水を外側に排出し、ブロック積

擁壁にかかる水圧を減じ、擁壁背面の沈下を防ぐとともに、湿潤化に伴う土のせん断抵抗力の低下により土圧が増大するのを防ぐ機能もある。したがって、裏込め材には砕石等の透水性の良い材料を用いる必要がある。なお、裏込め材はブロック積擁壁の構造の安定上必要なものであることから、その代替として透水マットを用いることは 2.1.1(4)の趣旨から適切ではない。

＜本資料の 2.2 節に関連する擁壁工指針の記載＞

5－7－4　ブロック積（石積）擁壁

（3）　大型ブロック積擁壁は、ブロック間の結合構造等に応じて、通常のブロック積擁壁に準じた構造と考えられる場合には、通常のブロック積擁壁と同様に設計を行い、もたれ式擁壁に準じた構造と考えられる場合には、もたれ式擁壁に準じて擁壁自体の安定性及び部材の安全性の照査を行ってよい。・・・（略）・・・

1)　大型積みブロックは、擁壁の要求性能を満足するための強度、施工性、耐久性等を有していなければならない。

・・・（略）・・・

(3)・・・（略）・・・控長の大きい大型積みブロックで鉄筋コンクリートや中詰めコンクリート等を用いてブロック間の結合を強固にした形式のものは、ブロックが一体となって土圧に抵抗するために、もたれ式擁壁に準じた構造と考えてよい。

・・・（略）・・・

1)　大型積みブロックは、擁壁の要求性能を満足するための強度、施工性、耐久性等の性能を有していなければならない。このため、大型積みブロックの材料及び品質規格については、「4－4－2（2）積みブロックの材料及び製品規格」に示す事項に従うものとする。また、大型ブロック積擁壁の設計に際しては、事前に大型積みブロックの強度及びブロック間の結合部強度等を検討しておく必要がある。

2.2.　分割型のプレキャストコンクリートブロックを接合する構造の擁壁の設計

2.2.1.　構造の基本

＜ポイント＞

分割型のプレキャストコンクリートブロックを接合する構造の擁壁は、ブロックが接合後に一体で挙動する部材としてみなせるよう、接合部に生じる断面力に対し構造上必要な強度を有するように設計する。

もたれ式擁壁に準じた構造の大型ブロック積擁壁[タイプ 3]を含む分割型のプレキャストコンクリートブロックを接合する構造の擁壁について、ブロックどうしが一体となって荷重に抵抗するための構造の条件の考え方を示したものである。

本編２章で示したプレキャストコンクリート製品の実態調査結果によれば、近年では多様な構造形式のプレキャスト擁壁の製品が開発され、分割型のプレキャストコンクリートブロックを積み上げて構築するもたれ式擁壁、重力式擁壁、片持ばり式擁壁等が開発されている。このような構造の擁壁の部材の安全性は、ブロックの接合部に大きく影

響される。したがって、このような構造の擁壁については、接合された状態での擁壁としての抵抗機構に応じて、その抵抗機構に適合する形式の擁壁に準じて設計を行うほか、ブロックが接合後に一体で挙動する部材としてみなせるように、ブロックの接合部に生じる断面力に対して構造上必要な強度を確保できるようにする必要がある。

2.2.2. ブロックどうしの接合部の構造

＜ポイント＞

(1) 曲げモーメント及び軸方向力の作用に対して、接合部において胴込めコンクリートのみを用いる場合には、胴込めコンクリートを有効断面とする無筋コンクリート断面として、また、胴込めコンクリート及び鉄筋を用いる場合には、胴込めコンクリートを有効断面とする鉄筋コンクリート断面として受け持つことを標準とする。

(2) せん断力の作用に対しては、接合面における胴込めコンクリートが受け持つものとし、接合面のプレキャストコンクリートブロックどうしの摩擦による分担は期待しないことを原則とする。

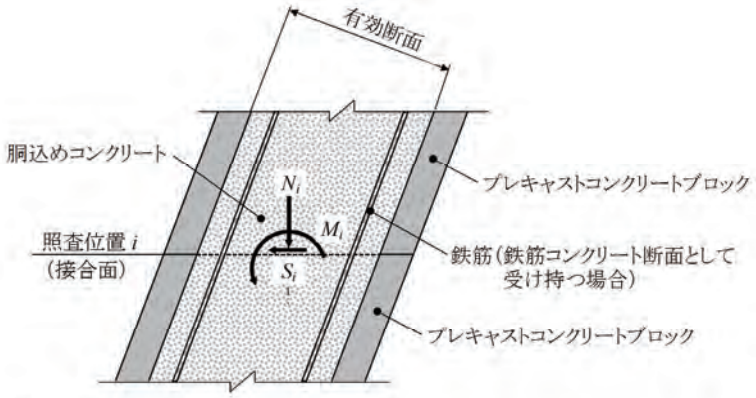
本編 5.2 節の結果に基づいて、2.2.1 項を達成できると考えられるブロックどうしの接合部の部材の安全性の照査手法を示したものである。

(1)について

曲げモーメント及び軸方向力の作用に対しては、図 2.3 に示すようにブロックが接触する部分は有効断面として考慮しないこととした。これは、プレキャストコンクリートブロック製品の寸法誤差、施工誤差等により、プレキャストコンクリートブロックどうしが接触する部分が曲げモーメント及び軸方向力に対して断面として有効に抵抗できるほど、均一かつ確実に接触した状態を期待し難いためである。本編５章の載荷試験においても、接合面において圧縮側となるプレキャストコンクリートブロックが断面として抵抗していない結果が得られている。なお、プレキャストコンクリートブロックを断面に見込む場合には、接合部をマッチキャスト等のプレキャストコンクリートブロックどうしが確実に一体化される構造とした上で、実験等により接合面においてプレキャストコンクリートブロックが部材断面として有効に機能することを確認する必要がある。

(2)について

せん断力の作用に対しても(1)と同様の理由により、接合面における胴込めコンクリートが受け持つものとした。



N_i ：照査位置 i における軸方向力（kN）
M_i ：照査位置 i における有効断面中心における曲げモーメント（kN･m）
S_i ：照査位置 i におけるせん断力（kN）

図 2.3　接合部の照査（接合方法に胴込めコンクリート及び鉄筋を用いた場合の例）

3.　施工

ブロック積擁壁の施工において、実際に現場で発生しやすいミス、トラブル等の観点から、留意しておくべき事項のポイントを整理して示したものである。

なお、ここで示す多くの事項は、通常のブロック積擁壁[タイプ 1]、大型ブロック積擁壁[タイプ 2、タイプ 3]を念頭に置いたものであるが、その多くは分割型のプレキャストコンクリートブロックを接合する構造の擁壁[タイプ 4-③]にも参考とできるものと考えられる。

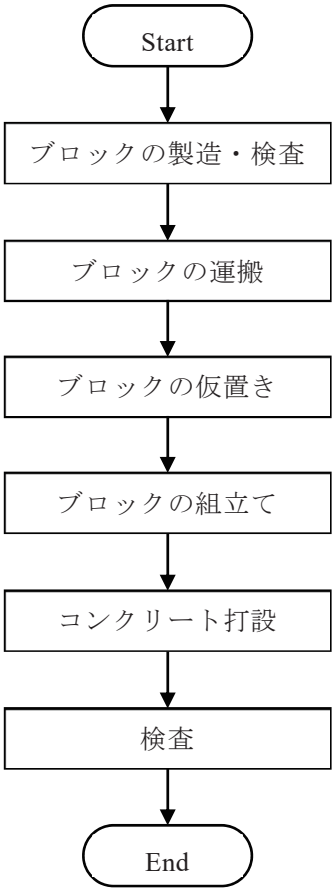


図 3.1　一般的な施工手順

3.1. 製造・検査に関連する事項

＜ポイント＞ (1) 【製品】積みブロックは、上段のブロックが良好に設置できる構造とする。 (2) 【製品・施工】積みブロックの製造に当たっては、外観を損なわないように留意するのがよい。

(1)について

積みブロックは一般に鋼製型枠を使用して製造されるが、コンクリートの打設面はコテ均しで仕上げることとなる。このコテ均しで仕上げた面が上段の積みブロックの設置面となる製品については、外形寸法が日本産業規格（以下「JIS」という。）の許容誤差の範囲内であったとしても、製品のコンクリート打設面の仕上がりによっては、ブロックの組み立ての精度に影響し、良好な出来形が確保できない場合がある。したがって、積みブロックは上段のブロックが良好に設置できる構造とする。そのために、極力積みブロックの上面をコテ仕上げ面にしないような製造方法とするのがよい。打設面が上段ブロックの設置面となる製品については、極力コテならし面の平面度を向上させるなどの配慮を講じるほか、コテならし面の平面度の程度を具体的に示しておくのがよい。

(2)について

製品に外観上の色むら、汚れ、気泡等が生じる場合があり、表 3.1 にはその例を示した。これらは構造物の安全性や耐久性において問題となることはほとんどないものの、環境との調和や美観の面から問題となる場合があり、結果的に製品の交換に至ることもある。したがって、積みブロックの製造において外観を損なわないように留意するのがよい。表 3.1 には失敗事例に対する解決手段の例を示した。なお、環境との調和や美観の面から特別な配慮が要求される場合には、製品に要求する外観上の品質（色むら、汚れ、気泡等）についてその程度を予め定めておき、これを満足するために製造の段階で必要な対応が図れるようにしておくのが望ましい。

表 3.1　製造における外観に関連する留意事項

失敗事例	解決手段の例
製造時期の違いによりブロック表面の色が異なる。	・色の異なっている積みブロックは、目立ちづらい位置（根石等）に配置する。 ・色の異なる積みブロックが近い位置に集中しないように組み立てにおいてランダムに配置する。
工場内に仮置きしている間に、意匠面の厘木の木汁等の跡がつく。	・意匠面が汚れないように、合成樹脂製の厘木を使う。
ブロック控え部分に気泡が残りやすい。	・限度見本による外観管理を入念に行う。

3.2.　運搬に関連する事項

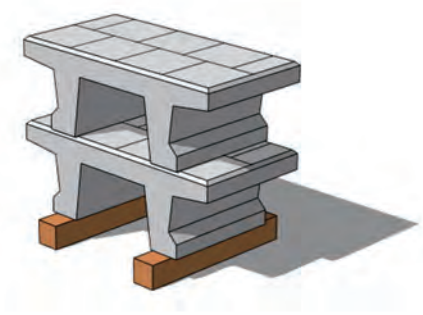
＜ポイント＞

(1)【施工】運搬時の積みブロックの積み方は、現場作業を考慮したものとするのがよい。

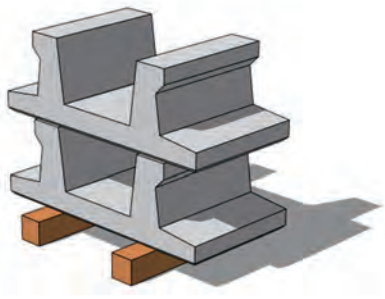
(2)【施工】積込み、荷卸し等において製品の破損、欠け等が生じないように慎重に行う。

(1)について

一般に、工場で製造された積みブロックは、現場近くのヤード等までトラックで運搬される。このとき、運搬中に積みブロックが損傷することのないようにするのはもちろんのことであるが、仮置きヤードへの荷下ろしの作業手順を考慮しておく必要がある。例えば、運搬時の積みブロックの安定や輸送の効率を重視して、積みブロックの意匠面を下側にしてトラックに積んだりすると、現場で荷下ろしする際に積みブロックを反転しなければならなくなるなど、現場において余計な手間や危険を伴うおそれが高まる。したがって、運搬時の積みブロックの積み方は、現場においてどのような方法で荷下ろしを行うかなどを極力考慮して計画しておくのがよい。



(a) 現場作業を考慮した積み方（例）



(b) 現場で手間のかかる積み方

図 3.2　運搬時の積みブロックの積み方に関する留意事項

(2)について

積込み、荷卸し等の際に製品に問題となる破損や欠けが生じると、返品・交換が必要となり、工事の遅れにも繋がるおそれがある。したがって、積込み及び荷卸しは、製品に破損や欠けが生じることがないよう慎重に行う必要がある。製品の破損や欠けは積込みや荷卸し時に生じるおそれが高いと考えられるが、組立時等においても同様に慎重に扱う必要がある。

3.3. 仮置きに関連する事項

＜ポイント＞

(1)【製品】積みブロックの仮置きは、積みブロックの安定が確保された状態となるように行う。

(2)【施工】仮置きの荷下ろしに当たっては、積みブロックの組立てが容易となるように、積みブロックの積層の順序を考慮するのがよい。

(1)について

運搬された積みブロックは、現場近くのヤードに荷下ろしし組立てまで仮置きされることが多い。積みブロックの仮置きは、積みブロックの安定が確保された状態となるように行う必要がある。ブロック自体の安定性が悪いと、仮置きヤードにおいて製品を段積みすることが困難となって想定以上の仮置きヤードが必要になることもあり、施工計画の見直しにつながる場合もある。したがって、積みブロック製品の仮置き時の安定性、仮置きヤードの広さ等を考慮して製品の堆積方法を具体的に検討しておくのがよい。仮置きヤードが狭小な場合などでは、限られたスペースにおいて必要な数の積みブロック

が仮置きできるように、仮置き時に段積みができる構造の製品等、仮置きした状態の安定性が高い積みブロック製品を採用することも考えられる。

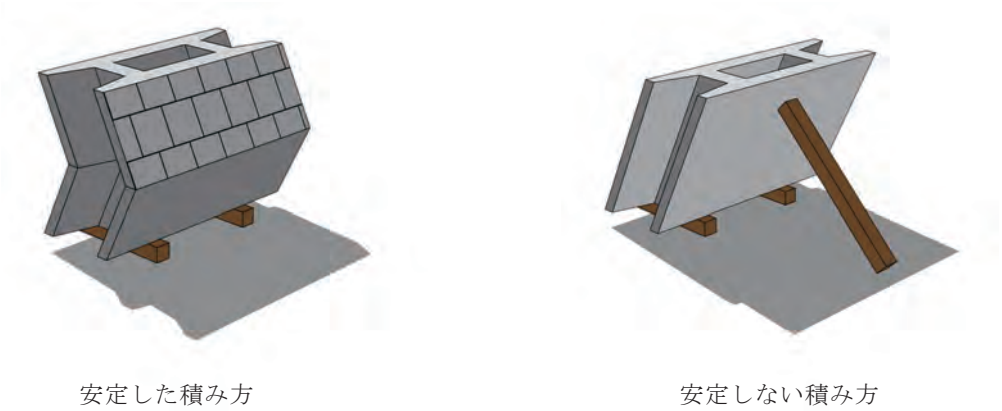


図 3.3　仮置き時の積みブロックの安定に関する留意事項

(2)について

仮置きに当たっては、積みブロックをどのように配置しておくかということも重要である。一連の大型ブロック積擁壁[タイプ 2, 3]においては、同じ製品であっても控長が異なる場合や一般部用、端部用等の形状が異なる場合があり、最初に使うブロックが遠くに仮置きされたりしていると、円滑に組立てができず、施工工程に影響する場合がある。したがって積みブロックの組立てが容易となるように積みブロックの使用の順序を考慮して、仮置きヤードに配置する。

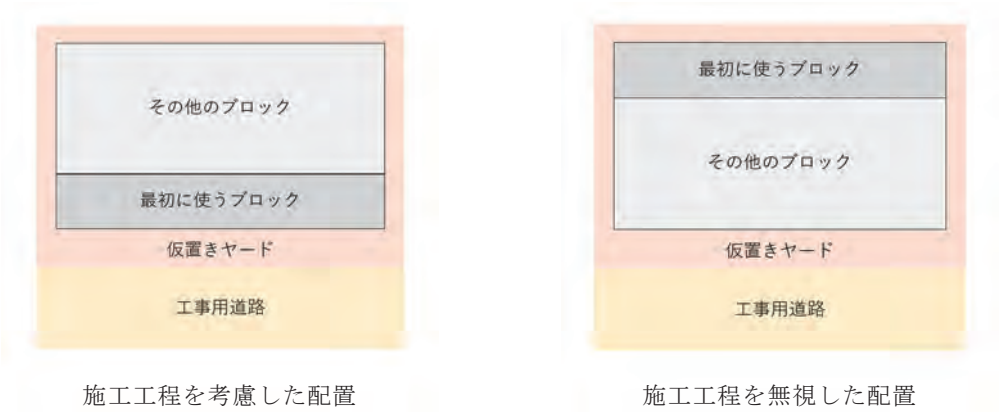


図 3.4　仮置き時の積みブロックの配置に関する留意事項

3.4. 組立てに関連する事項

＜ポイント＞

(1)【製品】積みブロックの組立ては、安全かつ組立て時の安定が確保された状態となるように行う。

(2)積みブロックの組立てに当たっては、以下の事項を考慮するのがよい。

1)【製品】勾配等の出来高の確実な確保の方法とその容易さ

2)【製品】積みブロックの種類の確認の方法とその容易さ

3)【製品】積みブロックの確実な吊上げの方法とその容易さ

(1)について

ブロック積擁壁については、積みブロック等どうしの一体性は、胴込めコンクリートや鉄筋コンクリートによって確保する構造とすることが通常であり、したがって施工時には、一般には積みブロックがそれ単体で自立する構造としておく必要がある。積みブロックの積層時の安定が確保されていないと積みブロックが倒れて落下することもあり、そのため積みブロックの組立ては、積みブロックの安定が確保された状態となるように行う必要がある。したがって、安定の高い構造の積みブロックを使用することは、組立て時の安全の確保のみならず施工性の向上にもつながる。そのために、施工工程を考慮した上で、ブロック単体においてもその安定が安定計算等により確認された積みブロックを使用する、また、ブロック単体で確実な安定が確保され難い場合などには、パイプサポート等による支持などを検討しておくのがよい。

また、施工時の安全の確保という観点では、吊上げ用のアンカー等に取付け不具合があると、積みブロックの吊上げ時において施工金具が外れ、ブロックが落下することがある。そのため、積みブロック製品の構造に応じて、施工金具の取付け及びブロックの吊上げの方法並びにその留意点等を施工要領書等に示す、又は施工指導するなどして確認しておく。最近では、吊り金具の取り付け作業が容易なワンタッチ式吊り金具を使用できる製品もある。

(2) 1)について

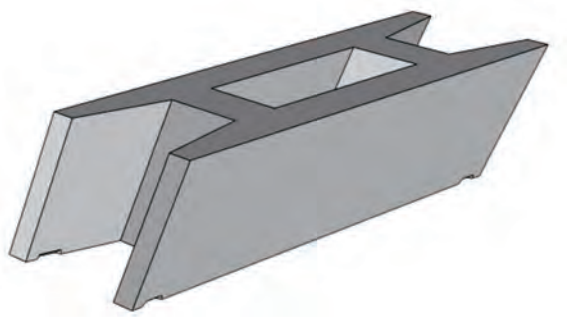
①基礎コンクリート

ブロック積擁壁の出来形を確保する上では、下から１段目の積みブロックを精度よく設置することが重要である。すなわち、下部に設置した積みブロックの位置のわずかな狂いによっても上部での位置の狂いが大きくなり、その結果積みブロックの積み直しが必要となることもある。そのため、基礎コンクリートの平坦性が確保されていることが

重要であるが、プレキャストの基礎コンクリートを使用することによって、設置面の平坦性を確保し、積みブロックの出来形の精度の確保が容易となることが多い。

②積みブロックの位置等の微調整

ブロック積擁壁の所要の出来形を確保するためには、積みブロックの勾配や位置を微調整しながら積み上げていくことが不可欠となる。その際に、積みブロックの構造上、設置勾配・位置の微調整が容易でないと施工性が低下し、場合によっては積み直しが必要となる。そのため、位置、勾配等の調整等が容易な構造の積みブロックを使用するとよい。例えば、積みブロック前面下部に欠込みを有する構造の製品は、欠込みにシノ棒等を刺して積みブロックの位置等を微調整することが容易となる。これとは別に、突起や目印による施工ガイドを設けることも、出来形の確保を容易とするうえで有効である。

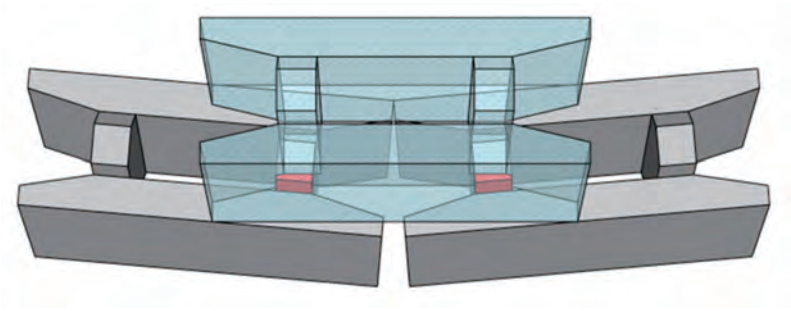


前面板と背面板の背面の下部（左右）に欠込みを設置

図 3.5　微調整のための欠込みの例

③適用可能な曲率半径等の条件の明示

曲率半径の小さい曲線部では、上下のブロックどうしの接合部に突起がある構造の場合に、突起が干渉してブロックが設置しづらい場合がある。特に、上下のブロックどうしの接合部の噛み合わせに調整代が無いと顕著になる。所要の出来形を確保するためには、設計において定められている曲率半径等の幾何形状に対応できる構造の製品を使用する必要がある。したがって、現場の条件に基づいて製品の選定が可能なように、曲率半径等の幾何条件を含めて製品の適用が可能な条件を明示しておく必要がある。

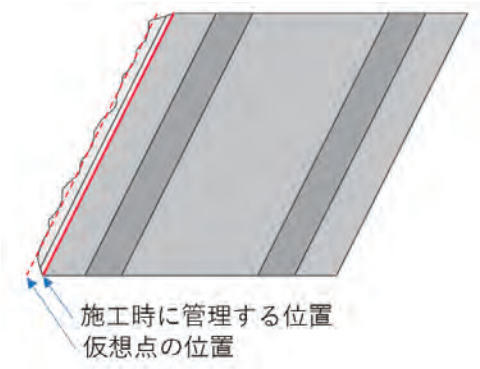


下段ブロックの突起が上段ブロックに干渉している。（赤色の部分）

図 3.6　曲線部における突起等の干渉

④擁壁前面の位置の明示

所要の出来形となるように積みブックを積み上げる際には、擁壁の前面勾配に着目して管理がなされることが一般的である。ここで、積みブロックの前面にはほとんどの場合に意匠が施されているが、擬石タイプ等の表面の凹凸の大きい製品を使用すると、どの位置に擁壁前面の法線をあわせるかが一見して分からず、施工管理しづらいことがある。そのため、擬石タイプの場合など、擁壁前面をどの位置で定義しているか一見して明らかな構造でない場合には、具体的な法線の取り方を明示しておくのがよい。



仮想点ではなく、面取りの付け根で管理すれば、位置が明確になる

図 3.7　擬石タイプの場合の法線の取り方

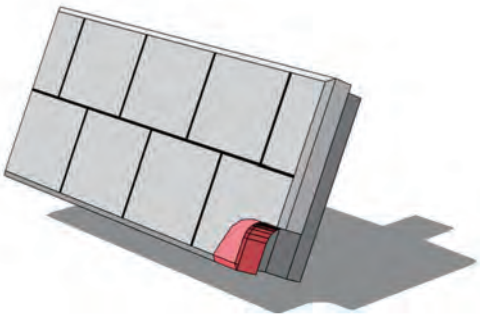
⑤擁壁前面勾配が変化する場合の施工

擁壁の高さが変化するような条件では、高さの変化に伴って擁壁前面勾配も異なり、自ずとそれらの区間の間で勾配を連続的に擦り付ける区間を作る必要がある。このような勾配が連続的に変化するような条件は、あらかじめ形状や寸法が定まっているプレキャスト製品に対しては施工の難易度が高い。そのため、このような条件の施工では、関係者間で綿密に連携しながら施工することが肝要である。

⑥ノックアウト式水抜き孔

ブロック積擁壁には、一般に 2～3 m^2 に 1 箇所の割合で水抜き孔が設けられる [1)]。プレキャスト製品の擁壁の場合には、この水抜き孔を設けるために、製品の製造段階であらかじめ箱抜きされている場合と、水抜き孔に相当する範囲について部分的に前面板の厚みを薄くし組立て時にこれをハンマー等で打ち抜く（以下「ノックアウト」という。）

場合の２つに大別される。ノックアウト式の水抜き孔の場合にはノックアウト自体は現場作業となるため、ハンマー等の打ち方によっては水抜き孔以外の部分についてもブロックに欠けが発生し、補修が必要となることがある。したがって、ノックアウトが現場作業であることに配慮した上で確実にノックアウトできることが確認された構造とする。



ノックアウト時にブロックの赤色部分が欠けないような構造としておく

図 3.8　水抜き孔周辺のブロックの欠け

(2) 2)について

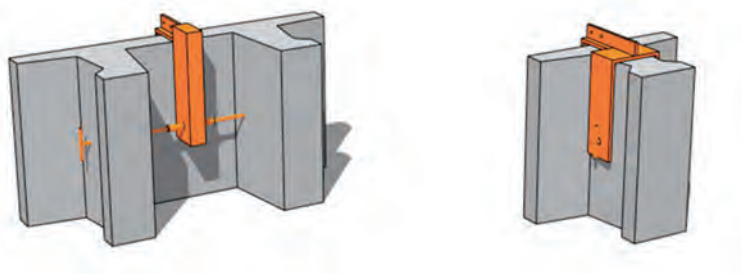
通常、同一の積みブロック製品であっても、積みブロックの積み方や形状によって一般部用、端部用等の複数の種類の積みブロックが用意されている。一般には、積みブロックの種類が多様なほど施工管理が煩雑となりがちである。このため、多様な種類の積みブロックを使用し、かつ形状を一見してその違いが分かりづらいような製品の場合には、積みブロックの種類が容易に確認できるようにしておくのがよく、例えば、製品の分かりやすい部位に分かりやすく積みブロックの種類を示す記号を表示するなどの方法が考えられる。

(2) 3)について

組立て等において、クレーン等で製品を吊り上げる場合に使用する施工金具（吊り治具）には、製品によっては製品の重心位置や吊り上げ位置を考慮した専用のものが用意されている場合がある。このような専用の吊り治具を使用すると、施工性の向上に繋がることが多い。なお、3.3(2)で述べたように、一連の大型ブロック積擁壁[タイプ 2, 3]においては、同じ製品であっても控長が異なる場合や一般部用、端部用等の形状が異なる場合がある。したがって、一連の施工で円滑に吊り上げるためには、各積みブロックの種類に対応した吊り治具が必要となる。一方で、吊り治具の種類が多様になりすぎると、

治具の使い分けが煩雑となり、逆に施工性を低下させるおそれもある。そのため、吊り治具は、積みブロックの構造に応じて、作業の安全性及び施工性を考慮したうえで極力最小限の種類について準備するのがよいと考えられる。また、吊り治具は極力軽量な方が施工性が向上する。

その他、組立てに関連する留意事項として、積みブロック製品によっては擁壁縦断方向について積みブロックを並べることのできる方向が決まっているものもあり、施工時に方向を考慮する必要がある。このように、積みブロック製品固有の制約もあることから、積みブロック製品ごとの構造上の特徴に応じて、配慮事項が明示され、確認できるようになっている必要がある。



一般部用（左）、端部用（右）で施工金具の形状が異なる例

図 3.9　積みブロックの形状等に応じた施工金具（吊り治具）の使分け

3.5. コンクリート打設に関連する事項

＜ポイント＞

(1)胴込めコンクリート、裏込めコンクリート等の現場打ちコンクリートの打設は、安全かつ擁壁躯体の一体性が確実に確保されるように行う。

(2)コンクリートの打設に当たっては、以下の事項を考慮するのがよい。

1)【製品】胴込コンクリート等を確実に打設し、及び締固める方法とその容易さ

2)【製品】胴込コンクリート等の打継ぎ面の高さを確実に管理する方法とその容易さ

3)【製品・施工】一連の擁壁の端部等の現場打ちコンクリートを安全に打設する方法とその容易さ

4)【製品】裏型枠や水抜きパイプを確実に設置する方法とその容易さ

(1)について

ブロック積擁壁の構造は、躯体を構成する積みブロックどうしが一体となって荷重に抵抗することが前提となる。したがって、練積のブロック積擁壁の場合には、積みブロック、胴込めコンクリート、裏込めコンクリートを配す場合は裏込めコンクリート等が相互に一体である必要がある。そのためには、入念に現場打コンクリートの打設を行うほか、極力施工が容易となるような積みブロック等の製品側における工夫を講じることも重要である。

(2) 1)について

(1)に密接に関連する事項である。胴込めコンクリート等の打設及び締固めを確実に行うためには、現場条件等に応じて次のようなことを考慮しておくのがよい。

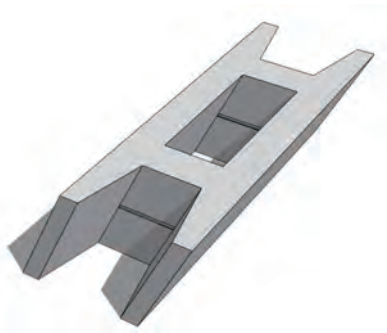
・胴込めコンクリートの充填不足のおそれが少ない形状で、打設や締固めを容易に行うことができる十分に大きい開口部を有する積みブックを使用する。

・胴込めコンクリートが積みブロックの隙間から擁壁前面側へ漏れないように、ブロックどうしの接合部に問題となる隙間がないことを確認しながら施工する。

なお、水平積の積みブロックはブロックの安定に優れる場合が多いため先行して 2～3 段のブロックを積層することが可能であるものの、胴込めコンクリート等を確実に締固め擁壁躯体の一体性を確実に確保するためには、１回のリフト高は積みブロック一段分とすることが肝要である。

(2) 2)について

積みブロックどうしの接合部は構造的な弱部となりやすく、したがって、部材の中で弱部を集中させないという観点からは、胴込めコンクリートの打継ぎ位置は積みブロックどうしの接合面及びその近傍を避けることが望ましい。このような施工が確実に実施されるように、ブロックの内側に適切な高さでの胴込めコンクリートの打ち止めることを促す目印（即席カップ麺のカップ内側のお湯を注ぎ入れる高さの目安の線に類したもの）を付与した構造とすることが合理的と考えられる。



控え柱に打継位置の目安のラインを設置

図 3.10　胴込めコンクリートの打継ぎ位置を示す目印（イメージ）

(2) 3)について

天端コンクリート、曲線区間の目地コンクリート、折れ部の現場打ちコンクリート、縦断方向の起終点等では、型枠を伴ってコンクリートを打設する必要がある。その際の施工を安全に行うための足場等を容易に設置できるような構造になっていることが望ましい。例えば、最近では擁壁躯体の水抜き孔を活用して設置する足場製品もあり、そのような製品が適用できること構造であることをあらかじめ確認しておくのがよい。また、積みブロックにインサートを設けておき、施工においてそれを活用することも考えられる。

なお、曲線区間や端部の現場打ちコンクリートが、周囲の積みブロックと景観的に違和感の無いようにするには、積みブロックと同じ意匠の化粧型枠を用意しておくとよい。

(2) 4)について

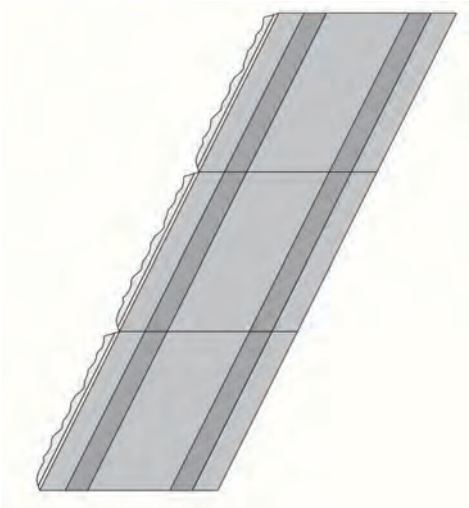
曲線区間に対応した積みブロックは、前面板に比べて背面板の長さを短くした構造が多いが、背面板が短いと裏型枠の設置や水抜きパイプの設置が難しくなる。現状は、現場条件に応じて様々に工夫しながら施工しているのが実態であるが、今後、容易に施工可能な工夫がなされた製品等が開発されることが望まれる。

3.6. 検査に関連する事項

＜ポイント＞
(1)ブロック積擁壁の検査に当たっては、以下の事項を考慮するのがよい。
1)【製品】ブロック前面の勾配の確認の容易さ

(1) 1)について

完成したブロック積擁壁については、発注者はこれが所要の品質・性能を満たしているかを確認し、受注者は検査に当たって必要な準備を適切に行う必要がある。この検査には出来形の測定が含まれるが、ブロック積擁壁の場合には擁壁の高さや擁壁前面の勾配等が測定の項目として考えらえる。ここで、意匠面すなわち擁壁前面が擬石模様の製品の中には、図 3.11 のように擁壁前面の法線を積みブロックのどこで取るべきかが一目では分からないものがある。したがって、擁壁前面の勾配等の確認が容易となるように製品の構造等において考慮しておくのがよい。例えば、意匠面の端部等に一部平滑な面を有する構造のブロックとしておくことが有効と考えられる。



表面の凹凸面では、勾配の測定が困難

図 3.11　出来形検査に関連する製品構造上の留意事項

参考文献

1)　社団法人日本道路協会：道路土工－擁壁工指針、2012.7

謝辞

本資料の作成にあたっては、日本道路協会道路土工委員会擁壁工 WG の委員各位より多くの貴重なご意見を頂きました。ここに記して深謝いたします。

共同研究報告書
Cooperative Research Report of PWRI
No.548 March 2021

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所 企画部 業務課
〒305－8516 茨城県つくば市南原1－6 電話029－879－6754