(42) 壁状プレキャストコンクリート構造物の ブロック間接合部の解析的検討

渡邊 雄大1・大西 弘志2・関口 修史3・羽田 大樹4

¹学生会員 岩手大学大学院 工学研究科社会環境工学専攻 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田4-3-5) E-mail:t2516018@iwate-u.ac.jp

²正会員 岩手大学准教授 理工学部システム創成工学科 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田4-3-5) E-mail:onishi@iwate-u.ac.jp

> ³正会員(株) 横河住金ブリッジ・鉄構エンジニアリング技術部 (〒273-0026千葉県船橋市山野町47-1 横河ウエストビル1F) E-mail:sekiguchi-shu@ysbc.co.jp

⁴岩手大学大学院 総合科学研究科地域創生専攻 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田4-3-5) E-mail:g0117046@iwate-u.ac.jp

著者らは,擁壁などの壁状構造物の構築において施工の合理化を目的に,プレキャストブロックを工場 製作し,現地で組合せて構築する工法を検討している.ブロック間の接合では,鉄筋のラップ長確保やP C鋼線緊張,鉄筋機械式継手などの方法により応力伝達をさせるのが一般的であるが,接合箇所の大型化 や特殊機材による施工,特殊な鋼材を予めブロック内に内装するなど必要がある.そこで,現地施工の合 理化やブロック製作の合理化を狙い,接合する相互のブロックの一方に箱抜きを設け,もう一方には連結 部材として鋼材を配置し,箱抜き部に連結部材を差込んだ後にコンクリートを充填し,連結部材を介して 応力伝達できるような接合構造を提案している.本研究では,提案したブロック間接合構造の応力伝達性 状の把握と,連結部材の配置による影響を把握するために,3次元有限要素法解析により解析的に検討し た結果を報告するものである.

Key Words : finite element analysis connection member stress transmission property

1. はじめに

平成23年3月11日に発生した東日本大震災が引き起こ した東北地方太平洋沖地震の津波は、これまでの港湾域 における防潮堤の設計外力を大きく上回り、既存の防潮 堤の著しい損壊を引き起こし、東北地方を中心に未曾有 の被害をもたらすこととなった.また、近年津波被害の みならず全国各地において大雨洪水による堤防や護岸の 損壊などの河川被害も多く発生しており、東北地方を中 心に避難時間の確保等を目的とした防潮堤や堤防等の建 設が進められてきた.さらに現在は、近い将来に南海ト ラフ巨大地震や首都直下地震の発生が予想されており これによる静岡県や和歌山県をはじめとした太平洋沿岸 地域における津波被害が特に懸念され、被害防止に向け た防潮堤や擁壁などの整備が急がれている.

こういった背景を受け,著者らは壁状構造物の構築に おける施工の合理化として,プレキャストブロックを工 場製作し,現地で組合せて構築する工法を検討している.



図 1-1 防潮堤設置状況

一般的にコンクリート製のプレキャストブロックは、製 造上,施工上の理由から寸法や重量の制約を受けること が多く、細分化したブロックを組合せて構築される. そ のため、ブロック間接合に係る作業が構築工程の大半を 占めることとなり、現場施工の長期化など経済性に与え る影響が大きい、また、コンクリートブロック間の接合 部は、PC鋼線緊張、鉄筋機械式継手などの方法接合さ れることが一般的であるが、接合部が大型化したり、特 殊機材による施工などが必要となる. そこで、現地施工 の合理化やブロック製作の合理化を狙い、接合する相互 のブロックの一方に箱抜きを設け、もう一方には連結部 材として鋼材を配置し, 箱抜き部に連結部材を差込んだ 後にコンクリートを充填して完成できる接合構造を提案 している. 本研究では,提案した接合構造の連結部材 が受ける曲げモーメントとせん断力が、連結部材の差込 長の変化によりコンクリートブロック側にどのように支 圧力として伝達されるかを3次元有限要素法解析を用い て基礎的に検討したものである.

2.解析概要

2.1 立体要素モデルの概要

本研究では汎用3次元非線形有限要素解析プログラム ATENA3Dを用いて有限要素法による解析を行った.こ のプログラムでは、構造物の非線形有限要素解析を行う ことができ、特にコンクリート構造物と鉄筋コンクリー ト構造物の挙動をシミュレーションすることができる. 図2-1に本研究で提案している防潮堤の検討モデルの 寸法を示す.今回の解析では、防潮堤の接続部材を介し た応力伝達性状の検討のため接続部材とフーチングブロ ックのみで構成されている立体要素解析モデルとした. 図2-2には、解析モデル概要図を示す.今期のモデル解 析モデルは対称性を考慮し半断面モデルとした.要素数 は11279 個となっている.メッシュサイズは、対象モデ ルが大きいことを考慮し、解析時間の短縮を図るために 要素数を節約し、接続部材から遠ざかるほど大きく分割 されている.

接続部材はH形鋼とベースプレートで構成されており, H形鋼のサイズは350×250×9/14を用い,下端に高さ方 向に25 mm,奥行方向に360 mm,幅方向に270 mm(全 断面時)のベースプレートを設けている.

図 2-3 に接続部材の概要を示す. 接続部材の埋込長に よる応力伝達性状の変化を確認すべく, Case 1を埋込長 350 mm, Case 2を埋込長 525 mm, Case 3を埋込長 700 mm とした埋込長 175 mmピッチの合計 3 パターンとし, 解 析を行った.



図 1-2 防潮堤イメージ



図 1-3 上下ブロック接続部材概要



外力は3ケースを実施し表2-2に示す. P-1は、検討モ デルの防潮堤で高さ6mで静水圧を受けることを想定す るせん断力と曲げモーメントを埋込部に与えた. 上記条 件でフーチングブロックと壁ブロックの境目における断 面でせん断力 30kN,曲げモーメント45.0kN・mが作用す るため、接続部材がフーチングブロックから突出する高 さ1.5m(=45kN・m/30kN)に30kNの集中荷重を設定す るものとした. P-2は鋼材の降伏荷重とした. SM490材 の許容応力度、鋼材の断面係数などから算出したもので ある. P-3はコンクリートひび割れ発生荷重である. コ ンクリートの平均せん断応力度にせん断抵抗断面積を乗 じた値である.

図2-4に荷重条件概要を示す.

また、境界条件として、本研究の解析モデルは対称性 を考慮し、幅方向を半分とする半断面モデルとしたた め、対称面を幅方向で拘束している.また、今回の解析 では接続部材に着目するため、底面はソケットによるフ ーチングブロックの接続を剛結であると仮定し、高さ方 向に拘束、さらにフーチングブロックに荷重が作用する 面とその対となる面は、全方向で拘束した.それら拘束 状況を図2.5に示す.

2.2 物性条件

解析モデルに設定したコンクリートの材料特性を表 2-3 にそれぞれ示す. コンクリートは破壊・塑性基準に 基づいたコンクリート構成則である3D Non Linear Cementitious2を設定した.設計基準強度としてコンクリー トの圧縮強度fakは40 N/mm²と仮定し,弾性係数 E。破 壊エネルギー G_f コンクリートの引張強度 f_t,の値は, それぞれ以下算定式^{1, 3}を用いて算出した.

$$Ec = 8500 \times \sqrt[3]{f'_{ck}} \tag{1}$$

$$G_F = 10 \times \sqrt[3]{d_{max}} \times \sqrt[3]{f'_{ck}}$$
(2)

$$f'_{tk} = 0.23 \times \sqrt[3]{f'_{ck}} \tag{3}$$







図 2-3 埋込接続部材寸法図(全断面)

表 2-2 荷重ケース

荷重	想定荷重	荷重値
ケース		
P-1	静水圧	30.0kN
P-2	降伏荷重	131.25kN
P-3	ひび割れ発生荷重	22.7kN

表2-4に鋼材の物性値を示す. 接続部材の突出部は本 来, 壁ブロックに埋め込まれているため, コンクリート により補剛されており、座屈等が起きない. しかし、コ ンクリートから剥き出して解析を行うため、この突出部 のH形鋼に予期せぬ挙動が起きる可能性がある. そのた め、突出部H形鋼を剛な部材として評価するため弾性係 数を2.0E+07 N/mm²とした. 鋼材の線形弾性構成則に3D Elastic Isotropic を設定し、埋込部の鋼材の弾性係数は複合 構造標準示方書を参照に一般値として2.0E+05N/mm²と した.本解析では接続部材とコンクリート要素の間にイ ンターフェイス要素を使用した. コンクリートと鋼材の 付着を切るため以下に述べるような物性値を設定しイン ターフェイス要素と使用した.まず、インターフェイス 要素を使用するにあたり必要な物性は、要素局所座標系 鉛直方向のバネ要素でのバネ剛性 Knn, 要素 局所座標 系水平方向のバネ要素でのバネ剛性 Ktt, 要素局所座標 系鉛直方向の挙動を再現するバネ要素での引張強度f. モール・クーロン基準を規定するための粘着係数 C お よび摩擦係数 ∉である.また,数値解析上,解析を安 定させるために架空の値として、引張強度到達後の要 素局所座標系鉛直方向のバネ要素でのバネ剛性 Knn min,モール・クーロン基準到達後の要素局所座標 系水平方向のバネ要素でのバネ剛性 Ktt min を設定する 必要がある.要素局所座標系鉛直方向のバネ要素でのバ ネ剛性 Knn および要素局所座標系水平方向のバネ要素 でのバネ剛性 Ktt は下記式より算定し、引張強度到達後 の要素局所座標系鉛直方向のバネ要素でのバネ剛性 Knn min およびモール・クーロン基準到達後の要素局所 座標系水平方向のバネ要素でのバネ剛性 Ktt min は下記 式より算定した.

$$K_{nn} = 100 \times E_c \tag{4}$$

$$K_{tt} = 100 \times G_c \tag{5}$$

$$G_c = \frac{L_c}{2(1+\nu)} \tag{6}$$

$$K_{nn_min} = 0.1 \times E_c \tag{7}$$

$$K_{tt_min} = 0.1 \times G_c \tag{8}$$

$$G_c = \frac{E_c}{2(1+\nu)} \tag{9}$$

バネ要素での引張強度 F.は接続部材がコンクリートから引き剝がされる場合に荷重伝達しないことを仮定するため0.0N/mm²と設定した粘着係数Cおよび摩擦係数Øも付着切れを再現するためそれぞれ0.0と設定した.

表 2-3 コンクリート物性条件

コンクリート	諸元	物性値
E _c :弹性係数	N/mm ²	2.90E+04
v:ポアソン比		0.2
f::引張強度	N/mm ²	2.69
f _{ck} : 圧縮強度	N/mm ²	40
G _f :破壊エネル	ギー N/m	92.83
d _{max} : 粗骨材最大	大寸法 mm	20

表 2-4 鋼材 物性条件

鎁	扌 諸元			物性値
Es	弾性係数	(埋込部)	N/mm ²	2.00E+05
Es	弾性係数	(突出部)	N/mm ²	2.00E+07
ν	ポアソン	比		0.3



図 2-5 拘束状況

算出したインターフェイス要素の物性値を表2-5に示 す.

3. 解析結果および考察

本研究では、接続部材の応力伝達性状を検討するため に接続部材を介した支圧力に着目し、解析を行った.以 下埋込長3ケース、荷重3ケースの合計9ケースの解析 結果を示す.

3.1曲げ圧縮フランジによる支圧力

図3-2に各荷重ケースごとに上端部50mmの高さ範囲で 算出した支圧力-埋込長の関係図を示す.関係図からわ かるように各荷重ケースいずれも支圧力と埋込長に若干 の比例関係があるように見受けられるが,概ね同値であ ることから埋込長による曲げ圧縮側フランジ接触コンク リート上端部の支圧力への影響は少ないものと考えられ る.

3.2 ベースプレートの効果

図3-3 に各荷重ケースごとに算出した曲げ引張フラ ンジによる支圧力と埋込長の関係図を示す.各荷重ケー スで埋込長 525 mmでの支圧力が極小値となっているこ とがわかる.また,表3-1 に各埋込長において曲げ圧縮 側と曲げ引張側フランジでの支圧力差を各荷重ケースご とに算出した値を示す.この差は,理論上載荷荷重とな るはずである.

そこで各埋込長で比較すると載荷荷重である理論値と 支圧力算出結果の差が最も乖離しているのが 525mmで あることがわかる.このことから,埋込長 525mmにお いて,最も荷重を負担していると考えることができ、ベ ースプレートの効果による影響が大きいと考えられる.

さらに、図34に荷重条件P-2時での曲げ引張側フラ ンジ接触コンクリートが受ける支圧力分布各埋込長奥行 方向応力コンターを示す.引張応力を正とし、各埋込長 での最大圧縮応力で比較すると525mmで最小の値を示 し、ベースプレートがフランジ接触コンクリートの変形 を抑制していると考えられる.

以上の検討結果よりベースプレートが負担する荷重の 割合が埋込長に影響されると想定されることが分かった.

図3-5に埋込長700mmにおける曲げ引張側フランジ接 触コンクリートの荷重方向応力コンター図を示す.赤丸 で囲まれた部分では応力が殆ど確認できない範囲が広く なっていることが分かり,この範囲が荷重伝達上あまり 効果を発揮していないと考えられる.このことから埋込 長さ700mmにおいてH形鋼のフランジで荷重を受けきっ 表 2-5 インターフェイス要素物性値

インタ	マーフェイス	諸元	物性值
Knn	バネ係数	MN/m ³	2.00E+07
Ktt	バネ係数	MN/m ³	1.21E+06
\mathbf{f}_{t}	引張強度	N/mm ²	0.00
С	粘性係数	N/mm ²	0.00
φ	摩擦係数		0.00
Knn_r	ninバネ係数	MN/m ³	2.00E+06
Ktt_m	in バネ係数	MN/m ³	1.21E+05



図 3-1 解析結果着目位置概要図

てしまうことでベースプレートが効果的に働かない可能 性が考えられる.しかし、下部の分布で圧縮域が広がっ ているが、これは降伏荷重時にH形鋼周辺のコンクリー トにひび割れが生じていることが原因と推測される.



(a) P-1 (30.0kN)



(b) P-2 (131.25kN)



図 3-2 曲げ圧縮側フランジ支圧力

50 40 30 10 0 200 400 600 800 埋込長 (mm)





(b) P-2(131.25kN)





図 3-3 曲げ引張側フランジ支圧力

表 3-1 各埋込長の圧縮・引張フランジでの支圧力差

	350mm	525mm	700mm
P-1	38.8kN	45.8kN	33.2kN
30.0kN	(+8.8)	(+15.8)	(+3.2)
P-2	163.0kN	200.3kN	111.1kN
131.25kN	(+31.75)	(+690.5)	(-20.15)
P-3	28.8kN	34.8kN	25.6kN
22.7kN	(+6.1)	(+12.1)	(+2.9)



図34 曲げ引張側コンクリートが受ける支圧力



図 3-5 埋込長 700mm における 曲げ引張側コンクリートが受ける支圧力

4. まとめ

本研究では、提案したブロック間接合構造の応力伝達 性状の把握と、連結部材の配置による影響を把握するた め三次元有限要素解析による検討を行い、埋込長の長さ よる荷重伝達機構の相違について把握した.

今後は、より精密に荷重伝達機構を把握するため、鋼 とコンクリートの付着性状などを再現した、解析的検討 と実証実験を実施する予定である.

謝辞

本研究にご指導いただきました方々に感謝申しあげ ます

参考文献

 複合構造標準示方書[2014年制定]原則編 設計 編,土木学会

- コンクリート標準示方書[2012年制定]設計編, 土木 学会
- 藤原忠司,張英華:基礎から学ぶ鉄筋コンクリート, 技報堂,2003.10
- 4) 町田篤彦:大学土木鉄筋コンクリート工学改訂3版, オーム社, 2016.2
 5) ATENA3D Ver.5, 株式会社計算力学研究センター

The analytical study on a block connection of a wall shaped precast concrete structure

WATANABE Yudai, ONISHI Hiroshi, SEKIGUCHI Shuji, HANEDA Hiroki

We examine the method that constructing pre-cast blocks which are made in the factory and building a structure on site with the aim to rationalize the construction of building wall structure such as retaining wall. In interblock joining, common methods of stress transmission are taking reinforcement lap length, tensing prestressed concrete steel wire or using mechanical reinforcement joint. However, these methods require increase in size of joint, using special machines or concrete block incorporating special reinforce to build constructions. Therefore, we suggest the joining structure in order to rationalize construction site operation and block production. In this joining structure, one block of joint has box void and the other block has a steel as the connection member. Stress can be transferred by the connection member which is inserted into box void and connected by concrete filled in box void. In this study, we report the result of investigation by three-dimensional finite element analysis method for the purpose of grasping stress transmission property of the interblock joint structure and the influence by the arrangement of connection members.