

論文 型枠コンクリートブロック造耐力壁脚部のすべり破壊性状に及ぼす摩擦効果に関する要素実験

吉田 和彦*1・菊池 健児*2・黒木 正幸*3・吉田 正人*4

要旨: 型枠コンクリートブロック造は繰り返しの水平荷重による曲げひび割れが耐力壁脚部と基礎梁間の横目地位置に集中する傾向がみられ、この位置での壁体のすべり破壊は、曲げ破壊、せん断破壊と並ぶ主な破壊モードの一つである。耐力壁脚部と基礎梁間におけるせん断力の伝達は、主として圧縮力による摩擦効果と、耐力壁と基礎梁を貫通している鉛直鉄筋によるだぼ効果により行われると考えられる。本論では、このうちの耐力壁脚部と基礎梁との接触面に生じる摩擦効果に着目して要素実験を行い、摩擦効果の耐力、変形性状について示した。

キーワード: 型枠コンクリートブロック造, 耐力壁, すべり破壊, 摩擦効果, すべり耐力

1. はじめに

空洞部の大きなコンクリートメーソンリーユニット（型枠状コンクリートブロック）を使用し、その空洞部に鉄筋を縦横に配置してコンクリートを全充填した耐力壁と壁梁や床スラブからなる壁式構造である型枠コンクリートブロック造（以下、型枠ブロック造という）は、これからの住宅をはじめとする建築物に要求される各種の品質・性能（耐震性、耐火性、耐久性、遮音性、省エネルギー性、環境共生性など）において他構造に比して多くの利点を有している。耐震性に関しては、1995年阪神・淡路大震災の被害調査¹⁾により、類似の構造形式である壁式鉄筋コンクリート造と同様に構造体にはほとんど被害が生じておらず、優れた耐震性を示した。

これまで型枠ブロック造のような全充填タイプの耐力壁を用いた構造の耐震性能に関する研究は行われてきたが（例えば参考文献 2)), 其中で壁体脚部と基礎梁との間ですべり破壊を生じた試験体がみられた（例えば参考文献 3), 4)). そこで本研究は、型枠ブロック造耐力壁脚部がすべり破壊を起こすときの耐力（すべり耐

力）および変形性状を把握することを目的としている。

図-1 に示すように型枠ブロック造耐力壁脚部と基礎梁間におけるせん断力 (Q) の伝達は、

- 1) 耐力壁と基礎梁との接着効果
- 2) 軸方向力 (N) および曲げモーメント (M) により生じる圧縮力による摩擦効果
- 3) 端部曲げ補強筋および中間縦筋によるだぼ効果

で行われると考えられる。

型枠ブロック造耐力壁は、地震時や既往の耐力壁実験においても繰り返しの水平荷重を受けるため、すべり耐力時の耐力壁脚部には曲げによるひび割れが発生していることから、このうち 1) については無視できるものと考えられる。このことから、曲げひび割れ発生後の耐力壁脚部におけるせん断力の伝達は、軸方向力および曲げモーメントにより生じる圧縮力による摩擦効果と端部曲げ補強筋および中間縦筋によるだぼ効果によりなされ、すべり耐力および変形性状は図-2 に模式的に示すそれぞれの荷重の累加により表されるものとする。既往の研究においてコンクリートひび割れ面やプレキャスト鉄筋コンクリート造の接合面におけるせん断耐力の検討（だぼ効果および摩擦効果）については数多くなされている（例えば参考文献 5)). しかし、接合部が曲

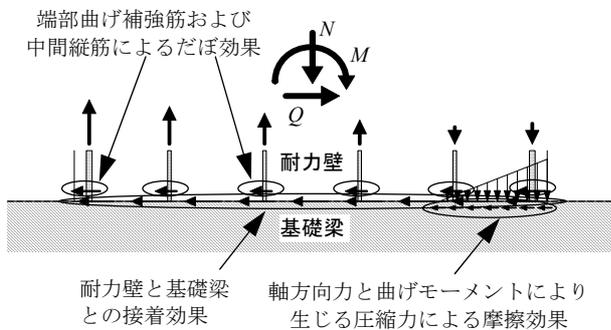


図-1 耐力壁脚部と基礎梁間におけるせん断力の伝達機構

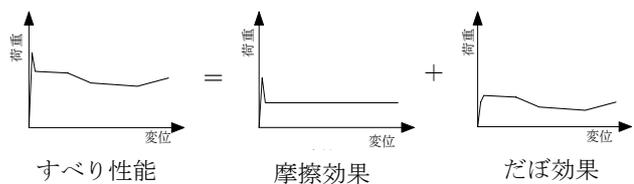


図-2 模式的に描いたすべり破壊する場合の荷重-変位関係

*1 大分県立工科短期大学 建築システム系住居環境科准教授 工修 (正会員)

*2 大分大学 工学部福祉環境工学科建築コース教授 工博 (正会員)

*3 大分大学 工学部福祉環境工学科建築コース助教 博士 (工学) (正会員)

*4 (株) エスペース建築事務所 工修

げモーメントを受ける場合や型枠ブロック造耐力壁についての研究はほとんどなされていないのが現状である。

本報では、耐力壁脚部におけるすべり耐力および変形性能に大きく影響を及ぼすと考えられる壁体脚部と基礎梁間の摩擦効果に着目し要素実験を行った。

2. 実験概要

2.1 試験体

表-1 に試験体一覧、図-3 に試験体形状・寸法および配筋詳細、図-4 に型枠状コンクリートブロック（以下、型枠状ブロックという）の形状・寸法を示す。

試験体に用いた型枠状ブロックは通常使用されるものを約 2/3 スケールに縮小して製作したものである。試験体は合計 11 体で、すべて上部スタブ、壁体部分および基礎梁から構成されており、壁体部分の内法高さ、壁長、壁厚、配筋は全試験体で共通としている。なお、鉛直方向の鉄筋は壁体脚部と基礎梁天端を摩擦面と設定し実

験を行ったため、基礎梁天端から 20mm の間隔をあけて配筋している。

水平荷重の加力点高さは 0mm, 300mm, 450mm の 3 種類とした。これは、実際の型枠ブロック造耐力壁脚部には曲げモーメントが作用しているため、このときの耐力・変形性状を把握するために試験体の転倒が生じない範囲で設定した。なお、加力点高さ 0mm 試験体は摩擦係数を確認するために設定した。また、軸方向応力度は $\sigma_0 = N / (t \cdot l) = 0.20, 0.39, 0.78, 1.18$ および 1.57MPa の 5 種類を設定したが、軸方向力の制御上表-1 に示すように多少の誤差が生じている。

試験体の製作は、ブロック組積面となる基礎梁天端をワイヤブラシにて目粗しを行い、その上に型枠状ブロックを組積した後、ブロック内部にコンクリートを全充填し、壁体頂部にスタブを打設した。表-2 に各試験体を使用した材料の力学的性質を示す。なお、組積試験体は、型枠状ブロックを 3 段積みし、空洞部にコンクリートを

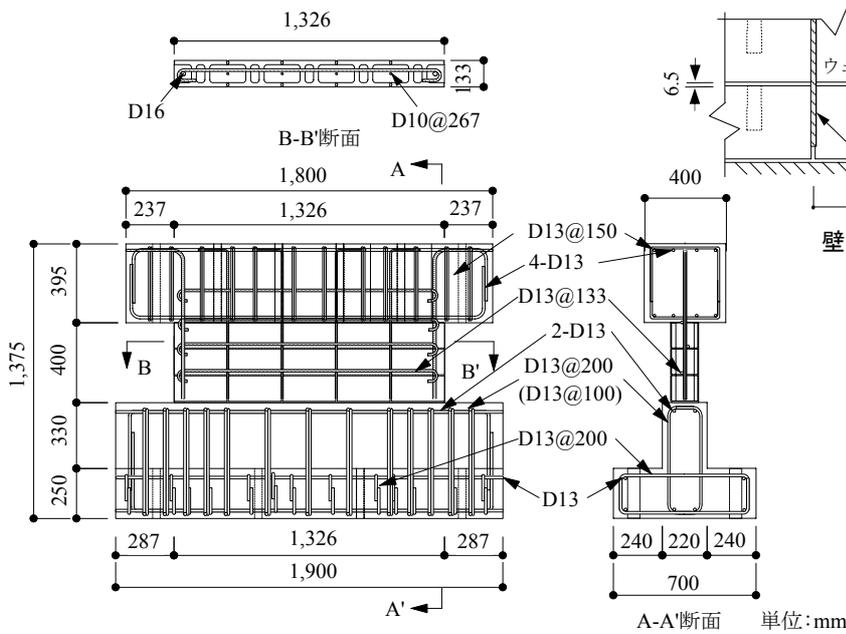


図-3 試験体形状・寸法および配筋詳細

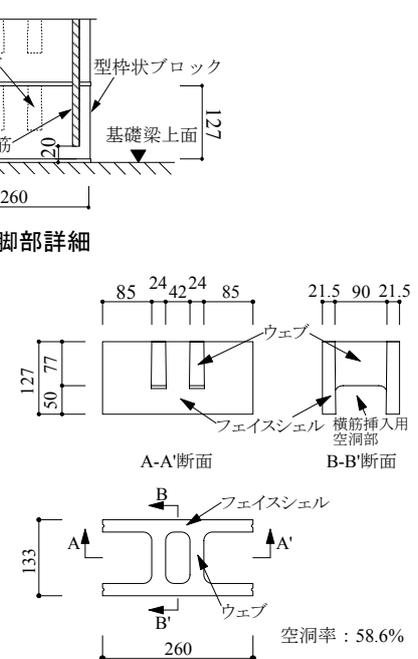


図-4 型枠状ブロックの形状・寸法

表-1 試験体一覧

試験体名	加力点高さ h' (mm)	軸方向応力度 σ_0 (MPa)		軸方向応力度 σ_0 (MPa)				壁高さ h (mm)	壁長 l (mm)	壁厚 t (mm)	
		0	0.20	0.39	0.78	1.18	1.57				
FC-5C0-20	0	0.24	0.24	0.44	0.83	1.22	1.62	400	1326	133	
FC-5C0-39		0.44	0.24	0.44	0.83	1.22	1.62				
FC-5C0-78		0.83	0.24	0.44	0.83	1.22	1.62				
FC-5C30-20	300	0.24	0.24	0.44	0.83	1.22	1.62				
FC-5C30-39		0.44	0.24	0.44	0.83	1.22	1.62				
FC-5C30-78		0.83	0.24	0.44	0.83	1.22	1.62				
FC-5C30-78-2	300	0.83	0.24	0.44	0.83	1.22	1.62				
FC-5C45-20		450	0.21	0.21	/	0.80	1.19				1.58
FC-5C45-39			0.40	0.21	0.40	0.80	/				/
FC-5C45-78	0.79		/	/	/	/	/				
FC-5C45-78-2	0.83		0.24	0.44	0.83	1.22	1.62				

表-2 材料の力学的性質

(a) コンクリート、モルタル、型枠状ブロック
組積試験体

試験体名	充填 コンクリート		目地 モルタル	型枠状 ブロック	組積試験体*	
	圧縮 強度 (MPa)	ヤング 係数 (GPa)	圧縮 強度 (MPa)	圧縮 強度 (MPa)	圧縮 強度 (MPa)	ヤング 係数 (GPa)
FC-5C0-20	32.4	21.6	33.1	37.6	24.1	20.6
FC-5C0-39	32.0	21.6	33.1	37.6	25.9	21.3
FC-5C0-78	32.1	23.1	30.9	44.9	33.1	21.4
FC-5C30-20	38.5	22.6	30.5	37.6	23.7	23.6
FC-5C30-39	37.0	22.8	33.1	37.6	21.3	23.2
FC-5C30-78	33.7	21.3	30.9	44.9	31.5	22.5
FC-5C30-78-2	29.5	22.4	33.1	37.6	22.5	21.4
FC-5C45-20	31.6	23.5	35.5	43.0	27.8	24.6
FC-5C45-39	30.8	24.3	32.9		26.1	21.5
FC-5C45-78	34.6	24.8	33.5		28.7	23.9
FC-5C45-78-2	37.5	22.8	33.3		31.5	22.8

* 組積試験体：3 段積み型枠状ブロックにコンクリートを充填した圧縮強度試験用供試体（参考文献 6）

(b) 鉄筋

試験体名	呼び名	降伏点 強度 (MPa)	引張 強さ (MPa)	破断 伸び (%)	ヤング 係数 (GPa)
FC-5C0-78	D10	394	551	18	184
FC-5C30-78	D13	341	486	19	179
FC-5C45-78-2	D16	352	505	19	182
FC-5C0-20	D10	375	535	23	172
FC-5C0-39	D13	349	497	19	180
FC-5C30-39	D16	347	498	23	203
FC-5C30-78-2					
FC-5C45-20	D13	360	527	23	188
FC-5C45-39	D16	346	507	25	191
FC-5C45-78					

全充填したものである。

2.2 実験方法

本実験に用いた加力装置を図-5 に示す。鉛直方向の油圧ジャッキにより表-1 に示した軸方向応力度に相当する軸方向力を载荷した。静的繰返し水平荷重は基礎梁天端から表-1 に示す加力点高さ h に設置した複動油圧ジャッキにより载荷した。なお、実験は最大耐力および最大耐力以後の耐力・変形状を把握するための载荷ステージ I と、すべり発生後の軸方向応力度による耐力・変形状を把握するための载荷ステージ II に分けられる。

载荷ステージ I では、すべての試験体において基礎梁天端より 1650mm の高さにセットした複動油圧ジャッキで、正・負方向に 1 回ずつ壁体脚部の曲げ引張側端部の浮き上がりが約 1mm となるまで静的水平加力を行い、壁体脚部全長にわたり曲げひび割れを貫通させた。このときの水平荷重は 12~54kN であった。その後この複動油圧ジャッキを取外し、表-1 に示す水平加力点高さおよび軸方向力下において最大目標変位 ± 30 mm の静的繰返し水平加力実験を行った。

载荷ステージ II では、载荷ステージ I の実験終了後、軸方向応力度を変数とし（表-1 参照）、すべり変位振幅

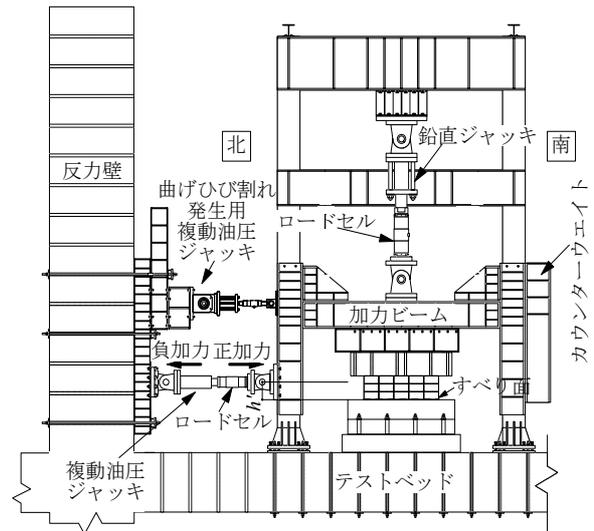


図-5 加力装置

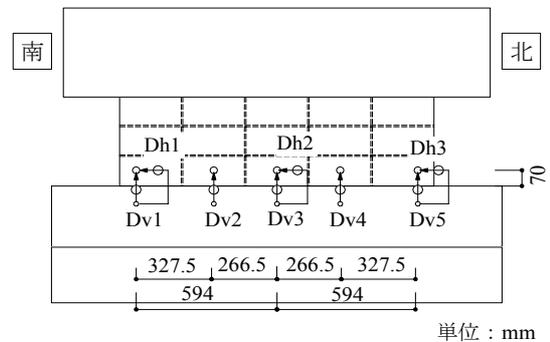


図-6 変位測定方法（東面）

が ± 30 mm（FC-5C0-78，FC-5C30-78，FC-5C45-20，FC-5C45-39，FC-5C45-78-2 の 5 体については変位振幅 ± 20 mm）の繰返し载荷を行った。

壁体脚部と基礎梁との水平相対変位（すべり変位）および鉛直相対変位は図-6 に示す位置で変位計を用いて測定した。

3 実験結果

3.1 実験経過

表-3 に実験結果一覧を、図-7 (a) ~ (c) に代表的な試験体の実験より得られた水平荷重 (Q) とすべり変位 (δ) の関係を示す。ここですべり変位とは、壁体脚部と基礎梁との相対変位であり、図-6 に示す Dh1~Dh3 の平均値としている。また、最大耐力以後すべり変位が増加し、一定の水平荷重を示すときの耐力（動摩擦力）を安定耐力と呼ぶこととし、 $Q-\delta$ 関係の包絡線におけるすべり変位 15mm 以降の水平荷重の平均値とした。なお、変動係数が 2% を超える試験体については安定耐力を評価しなかった。

図-6 に示す Dv1~Dv5 の最大耐力時における変位より壁体脚部の傾きを求めると、加力点高さ 0mm 試験体で 1/10000 以下となっており、ほぼ壁体が水平に挙動していることを確認した。また、加力点高さが高くなると壁体の

表-3 実験結果一覧 (载荷ステージ I)

試験体名	加力点高さ h' (mm)	軸方向応力度 σ_0 (MPa)	最大耐力時		安定耐力 (kN)
			耐力 Q_{max} (kN)	すべり変位 δ (mm)	
FC-5C0-20	0	0.24	265	0.03	51
			73	0.58	-
FC-5C0-39	0	0.44	244	0.02	70
			93	0.41	65
FC-5C0-78	0	0.83	377	0.07	127
			169	0.71	127
FC-5C30-20	300	0.24	133	0.24	56
			122	0.23	51
FC-5C30-39	300	0.44	158	0.21	72
			150	0.20	68
FC-5C30-78	300	0.83	230	0.26	125
			195	0.08	120
FC-5C30-78-2	300	0.83	234	0.26	123
			233	0.21	120
FC-5C45-20	450	0.21	55	0.10	38
			54	0.71	-
FC-5C45-39	450	0.40	102	0.21	68
			99	0.56	-
FC-5C45-78	450	0.79	186	0.23	125
			187	0.32	125
FC-5C45-78-2	450	0.83	191	0.99	118
			198	0.98	123

回転が生じるため水平ジャッキの傾きが生じ鉛直方向成分が作用することになるが、この鉛直方向成分は鉛直ジャッキの軸方向力の 0.6%以下であったことを確認しており、実験結果に与える影響は十分小さいと考えられる。

载荷ステージ I : 正加力側では、すべての試験体において最大耐力まではほとんどすべり変位は見られず、最大耐力に達した後、急激な耐力低下とともに大きなすべりを起こした。これ以後すべり変位が増すにつれ、緩やかに耐力を低下させ、ほぼ一定の耐力となった。最大耐力は、加力点高さが低くなるにつれて大きくなる傾向が見られた。壁体脚部にすべりが発生しすべり面が形成されると、その後はすべり面に沿って正・負加力側にすべりが生じ、ブロック、コンクリートや目地モルタルには圧壊は生じなかった。

载荷ステージ II : すべての試験体において、すべり変位の増加による耐力の大きな変動は見られなかった。

3.2 耐力および変形状

図-8 に水平荷重-すべり変位関係の正加力側の包絡線を示す。図よりいずれの試験体も最大耐力以後、すべり変位の発生と同時に耐力が急激に低下し、その後ほぼ一定の耐力 (安定耐力) を示しており、変形状は加力点高さおよび軸方向力が異なってもほぼ同じ性状を示している。最大耐力は加力点高さが低くなるほど大きくなり、最大耐力時のすべり変位は試験体 FC-5C45-78-2 を除き最大耐力時まで 0.3mm 以下となっており、特に加力点高さ 0mm 試験体では 0.1mm 以下である。また、すべり発生以後は加力点高さが異なっても同様な耐力・変形状

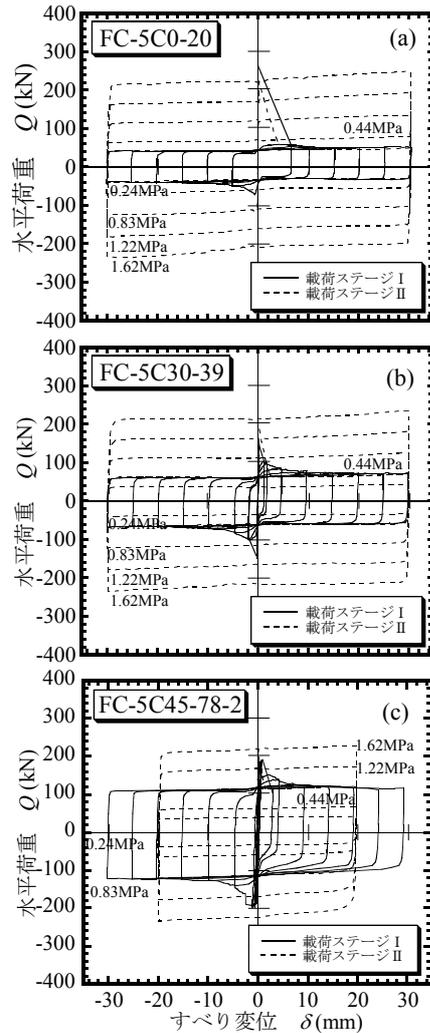


図-7 水平荷重 (Q) -すべり変位 (δ) 関係

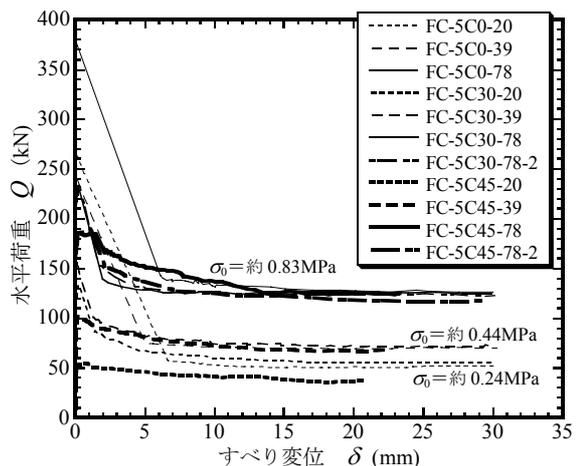


図-8 水平荷重-すべり変位関係の包絡線 (正加力側)

を示しており、加力点高さの影響はほとんど見られない。

図-9 に水平荷重を軸方向力で除して基準化した値 (Q/N) とすべり変位関係を示す。これより安定耐力時の摩擦係数 (動摩擦係数) は軸方向応力度が 0.24MPa の試験体を除き 0.80~0.95 の範囲にある。軸方向応力度が 0.24MPa の試験体が異なる結果となるのは、0.24MPa 試

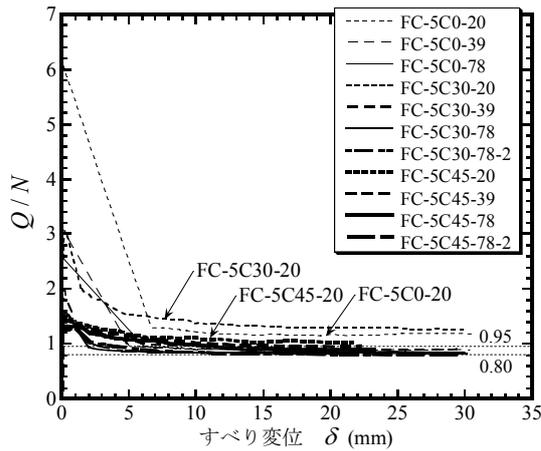


図-9 Q/N-すべり変位関係

験体では接触面に作用する圧縮力が小さいため、繰返し
 载荷による接触面の凹凸の損傷が少ないことから他の
 軸方向応力度の試験体と比較して摩擦係数が大きくな
 ったものと考えられる。

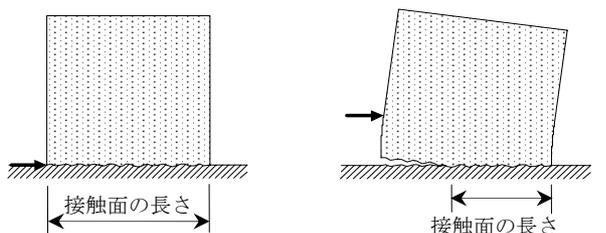
3.3 摩擦力の検討

今回実験を行った摩擦要素試験体 11 体を用いて最大耐
 力および安定耐力の検討を行った。この最大耐力は型枠ブ
 ロック造耐力壁脚部がすべり破壊を起こすときの耐力（す
 べり耐力）に大きく関係してくるもので、安定耐力はすべ
 り破壊後の耐力保持に関係する。

図-10 に各試験体の最大耐力と軸方向力の関係を示す。
 図中の実線、破線および一点鎖線はそれぞれ加力点高さ
 450mm、300mm および 0mm 試験体の最大耐力の回帰直線
 を示す。なお、加力点高さ 0mm 試験体については、壁体
 全面が接触面であり正加力側ですべりが発生すると接触
 面の損傷が生じ負加力側では最大耐力（静摩擦力）が発揮
 されないことから、正加力側の結果のみを示している。

300図より最大耐力の摩擦係数（静摩擦係数）は 1.03
 ~1.27 となっている。なお、参考文献 7) の接合部強度式
 の中では、先打ちコンクリートと後打ちコンクリートの
 境界面の摩擦係数 1.0、一体打ちしたコンクリートひび
 割れ面の摩擦係数 1.4 と示されており、今回の実験結果
 はこの範囲内になっている。

また、軸方向力が同じ場合でも加力点高さが低くなる
 ほど最大耐力が大きくなっており、加力点高さ 450mm
 および 300mm 試験体に比べて加力点高さ 0 試験体の最



(a) 加力点高さ 0mm の場合 (b) 加力点高さが低い場合 (c) 加力点高さが高い場合
 図-12 加力点高さと接触面積との関係

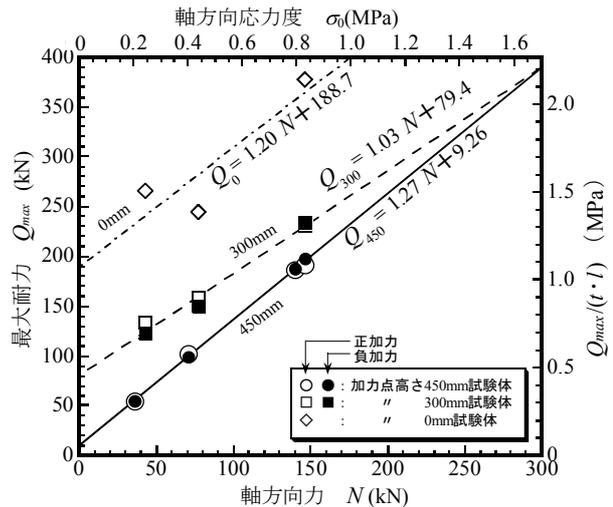


図-10 最大耐力-軸方向力関係

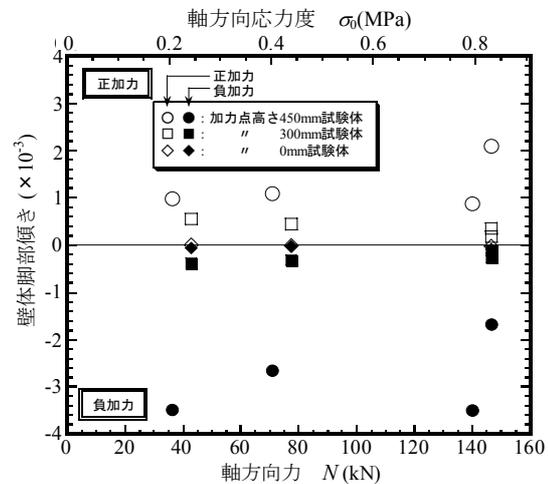


図-11 壁体脚部傾き-軸方向力関係

大耐力のばらつきが大きいことがわかる。

図-11 に各試験体の最大耐力時における壁体脚部の
 傾きと軸方向力の関係を示す。ここで壁体脚部の傾きは
 図-6 に示す最大耐力時の Dv1~Dv5 の変位に対する回帰
 直線の傾きとした。この図より軸方向力に関係なく加力
 点高さが低いほど壁体脚部の傾きが小さくなっている
 ことがわかる。これより図-12 に示すように加力点高さ
 が低くなるほど壁体脚部の接触面の長さが大きくなっ
 ていると推測され、接触面の面積が広がると考えられ
 る。また、摩擦試験体のすべり面は繰り返しの水平荷重
 により発生した曲げひび割れが貫通した面であり、水平

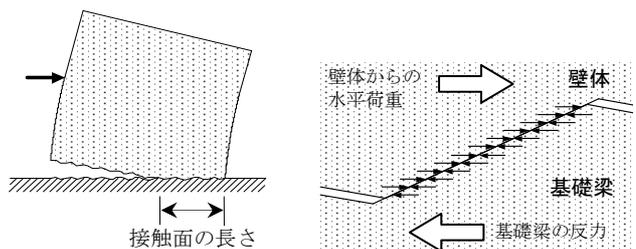


図-13 かみ合いによる
 水平力伝達の模式図

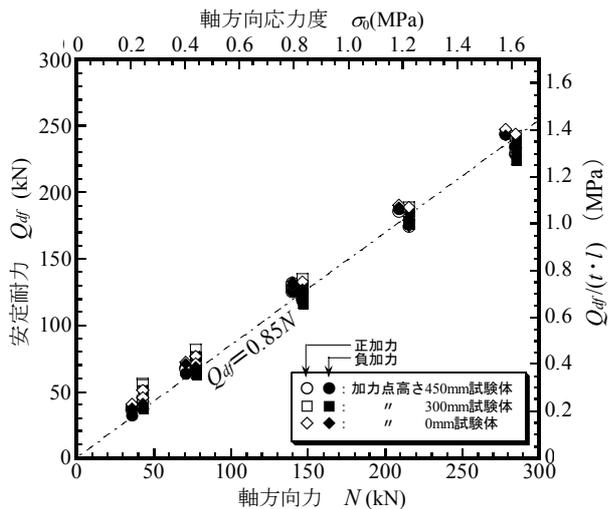


図-14 安定耐力-軸方向力関係(载荷ステージⅠ・Ⅱ)

荷重が载荷されることにより図-13に示すように接触面にはひび割れによる凹凸や粗骨材によるかみ合い作用により水平方向に抵抗成分が発生し、このためすべりを生じる時の接触面の面積が最大耐力に関係するものと考えられる。この水平方向の抵抗成分は接触面の表面状態に関係するが、曲げひび割れにより形成された接触面の表面状態は均一となりにくい。加力点高さ0試験体では壁体断面全面が接触面となり接触面が最も大きくなるため、かみ合い作用の影響を最も大きく受け最大耐力のばらつきが大きくなっていると考えられる。一方、加力点高さが高い450mm試験体では接触面が最も小さくなるため接触面で生じるかみ合い作用の影響が最も小さく最大耐力のばらつきも小さくなっていると考えられる。

以上のように、摩擦試験体の最大耐力(Q_{max})は摩擦力だけでなく接触面の凹凸のかみ合い作用による影響を受けると考えられるが、図-10より加力点高さが450mmの場合のかみ合い作用による抵抗成分はほぼゼロとなっている。実際の型枠ブロック造耐力壁の反曲点高さはこれよりも高くなることが想定されるため、耐力壁のすべり耐力に接触面のかみ合い作用による影響は小さいものと考えられる。

図-14に各試験体の载荷ステージⅠとⅡから求まる安定耐力と軸方向力の関係を示す。载荷ステージⅡの安定耐力は、各軸方向応力度のサイクルにおけるすべり変位15mm以降の水平荷重の平均値とし、载荷ステージⅠと同じ評価方法で求めた。図中の一点鎖線は安定耐力の回帰直線を示す。この図より加力点高さの違いに係わらず安定耐力はほぼ等しくなっており、回帰直線より得られる安定耐力の摩擦係数(動摩擦係数)は0.85となった。

4 まとめ

型枠ブロック造耐力壁の摩擦要素試験体11体を用い

て実験を行い、加力点高さおよび軸方向力が最大耐力および変形性状に及ぼす影響について検討を行った。以下に主な結果をまとめる。

- (1) 壁体脚部の摩擦による水平耐力は、すべりが生じ始める最大耐力と一定の耐力を保持する安定耐力(動摩擦係数)で特徴づけられる。
- (2) 壁体脚部と基礎梁間にすべりが生じ始める最大耐力は、軸方向力が大きくなるにつれ、また、加力点高さが低くなるにつれて大きくなる。
- (3) 安定耐力は加力点高さが異なってもほとんど変わらない。
- (4) 最大耐力の静摩擦係数は1.03~1.27となり、安定耐力の動摩擦係数は0.85となった。

謝辞

本実験で用いた2/3スケールのブロックは、東洋工業株式会社に製作して頂きました。また、試験体製作および実験に際し、大分大学技術職員平松強氏および同大学建築構造学研究室の4年生を始め学生諸氏に多大な協力を頂きました。ここに記して、深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告，建築編-2，プレストレストコンクリート造建築物，鉄骨鉄筋コンクリート造建築物，壁式構造・組積造，日本建築学会・地盤工学会・土木学会・日本機械学会・日本地震学会，pp.584~587，1998
- 2) 岡本伸ほか：組積造に関する日米共同大型耐震実験研究(その1~15)，日本建築学会大会学術講演梗概集，C構造II，pp.1081-1110，1985.10
- 3) 田中昭洋，菊池健児，吉村浩二，吉田和彦：型枠コンクリートブロック造耐力壁の耐震性能に及ぼすアスペクト比の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.3，pp.505-510，2000.6
- 4) 上村紘平ほか：型枠コンクリートブロック造耐力壁の耐震性能に及ぼすアスペクト比の影響(その12・13)，日本建築学会大会学術講演梗概集，C-2構造IV，pp.1047-1050，2006.9
- 5) 望月重，小林高志：プレキャスト連層耐力壁の水平接合部のすべり強度に関する実験，日本建築学会構造系論文集，第486号，pp.63-73，1996.8
- 6) 日本建築学会編：壁式構造関係設計規準集・同解説(メーソンリー編)，日本建築学会，pp.2，2006
- 7) 日本建築学会編：現場打ち同等型プレキャスト鉄筋コンクリート構造設計指針(案)・同解説，日本建築学会，pp.12，2002