

論文 コンクリートブロック塀の倒壊防止策の基礎的検討

中村 友紀子^{*1}・浦井 基行^{*2}・工藤 裕^{*2}・柳澤 裕太^{*2}

要旨：コンクリートブロック塀は、単体では確認申請を行わずに建築できることもあり基準に適合しないものも多く、過去の地震ではブロック塀の倒壊によって人的被害も報告されている。耐震安全性向上策開発の基礎的検討として、新潟市における実態調査を行った結果、控え壁を必要としない補強方法の必要性が明らかとなった。また、ブロックを用いた面外方向加力実験を実施し、手締めによる軸拘束によって崩壊防止策への可能性を示した。

キーワード：組積造塀, コンクリートブロック, 地震被害, 街路閉塞

1. はじめに

住宅をはじめとする建築物の敷地、道路との境界にコンクリートブロック塀や石塀など組積造による塀が多用されているが、地震時の倒壊事例も多く報告され、人的被害や街路を塞ぎ避難や救助に支障をきたすことも多い。

特に1978年宮城県沖地震では死亡者28人の内15人が石塀ブロック塀の倒壊によるものであり、この他に64年新潟地震で28人中3人、68年十勝沖地震により青森県での死亡者48人中4人が石塀・ブロック塀によるものなど単独の建設では確認申請の必要の無い構造物であるが地震時の人的被害は多い^{1), 2)}。

2005年福岡県西方沖地震でも倒壊したブロック塀の下敷きとなり1名が亡くなり、この地震による唯一の死亡者となった³⁾。このように組積造塀の倒壊により人命が奪われることは珍しくない。しかし塀単体で建設する場合には建築確認を要せずとも建築可能なこともあり、人的被害低減のため地震防災上重要な塀には基準を満たしておらず危険なものが多く存在することが既往の調査においても報告されている。ブロック塀の更新には、行政による補助制度もあるが塀の耐震化そのものに対する制度は少なく、補助制度があっても防災計画上のものでは

なく景観上の対策としての生垣への転換に対する助成がほとんどである。

しかし、過去の地震被害から敷地と道路との境界に存在する組積造塀は倒壊した場合には人的被害だけでなく、道路の通行を妨げ、避難活動や救助活動に影響を及ぼしていることが報告され⁴⁾、区画整理や十分な道路幅員の確保など街路インフラの整備だけでなく街路に面した塀の耐震安全性向上のため倒壊防止策を促すことは、防災計画、都市計画の観点からもその対応策の検討は必須である。しかし防災対策上重要であるにもかかわらず、街路閉塞の実態調査や対策の為のモデル化においては、「建築物などのガレキ」と街路に面した敷地にあるその他の構造物と一緒にモデル化されることが多く、建築物の耐震化のみがその対策として挙げるにとどまっている⁵⁾。

そこで本研究では、まず新潟市西部において指定緊急輸送路に指定されている国道116号線から避難所までの最短経路の実態調査をおこない、その特徴を整理し、基準を満たしていない塀が倒壊した場合の街路閉塞率を試算した。また補強鉄筋を配しない組積造壁の面外曲げ試験を実施して、組積造塀への耐震性能向上、倒壊防止策の可能性を検討した。

*1 新潟大学 工学部建設学科 講師 博士(工学) (正会員)

*2 新潟大学 工学部建設学科建築学コース

2. 街路に面する塀の実態調査

2.1 調査地域

調査地域として新潟市西部の指定緊急輸送路に指定されている国道 116 号線を軸に避難場所となる 9 箇所を選択した。一つを除いて一時避難所および収容避難所に指定されている公園や小学校である。調査街路はこの国道 116 号線から避難場所までの最短経路とした。図-1 に新潟市市民生活部防災課による防災マップ⁷⁾に調査街路を追加したものを示す。



図-1 調査街路（文献 7）に加筆

2.2 調査方法

調査項目は、ブロック塀調査マニュアルのブロック塀診断カルテ⁸⁾や過去のブロック塀調査事例⁹⁾を参考に決定した。調査対象は、擁壁を除くすべての街路に面する塀を対象として写真撮影、スケッチ、目視調査、寸法調査、鉄筋の有無、ぐらつきを調査した。配筋については鉄筋探査機で縦筋間隔のみを計測し、基礎については地面から確認できる範囲のみを調査した。表-1 に調査項目一覧を示す。

表-1 調査項目

一般項目	所在地	番号
状態構造	塀の種類	塀の高さ
	ブロック段数	ブロック寸法
目視状況	基礎の高さ	基礎の有無
	控え壁の有無	鉄筋の有無
	すかしブロックの有無	鉄筋間隔
	笠木ブロックの有無	控え壁の間隔
	増し積みの有無	すかしブロックの有無
		金属製フェンスの有無

2.3 調査結果

調査塀数は 9 地区 213 個である。図-2 に示すように約半数が化粧無しのコンクリートブロック塀、約 2 割が化粧有り塀、14%が石積み、9%が金属フェンス、その他となった。

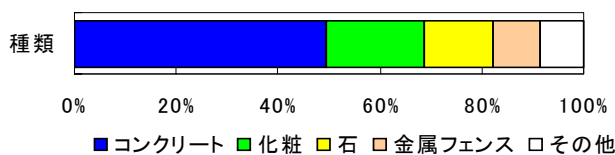


図-2 塀の構造種別

各項目の結果を図-3 に、調査できた項目について基準を満たしているかどうかの適否を図-4 に示す。注目すべき点は控え壁である。ブロック塀の控え壁は建築基準法施行令において高さ 1.2m 以上の場合は 3.4m ごとに控え壁の設置が義務付けられているにもかかわらず控え壁のあるものは全体の 3% しかなかった。これにより基準を満たしていない項目のあった塀は 96% に達した。図-4 に示すように、控え壁以外の項目を満たして塀の割合を調べたところ全体の約半数となった。

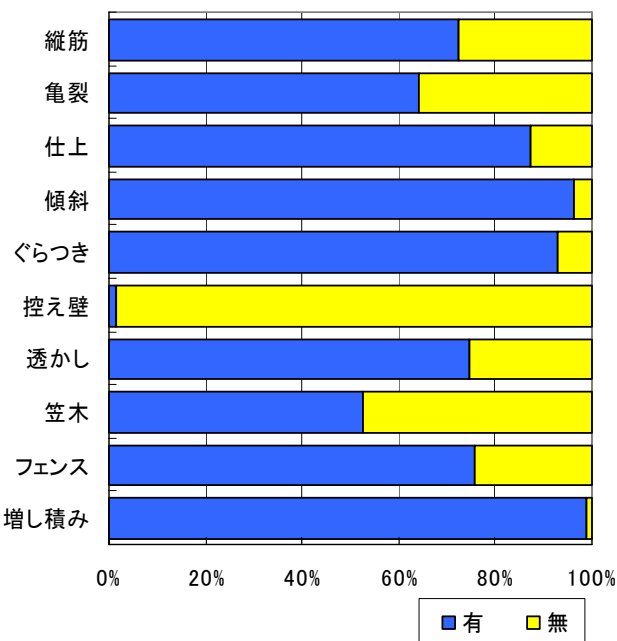


図-3 各調査項目結果

続いて基準を満たしていない塀が街路側にすべて倒壊した場合の投影図を最も道路幅員の

狭い 3.5m の地区と広い 15m の地区 2 地区について図-5 に示す。住宅地では他の調査街路でも幅員 4~6m で、塀が倒壊した場合の道路面積に対する割合である閉塞率も 20%程度と大きい傾向になり、図に示すように逃げ場の無いほど塞がれるところもある。住宅密集地ほど目隠しの意味合いもありブロック塀の数自体も多く、塀と建物の距離も狭い傾向があった。このような地区では塀と建物との距離も短く物理的に控壁を設けることが難しいと思われるところも多し、これまでの補強工法としては控え壁またはそれに順ずる鉄骨控え柱などにより耐力を向上させるものがほとんどである⁶⁾。組積造塀の耐震化を普及させる為には控壁を設置せずとも耐震的になるような組積壁構法や補強方法が必要であるといえる。

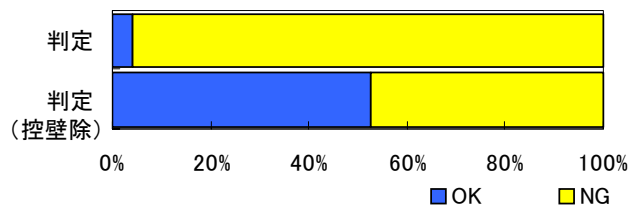


図-4 塀の基準適合判定結果

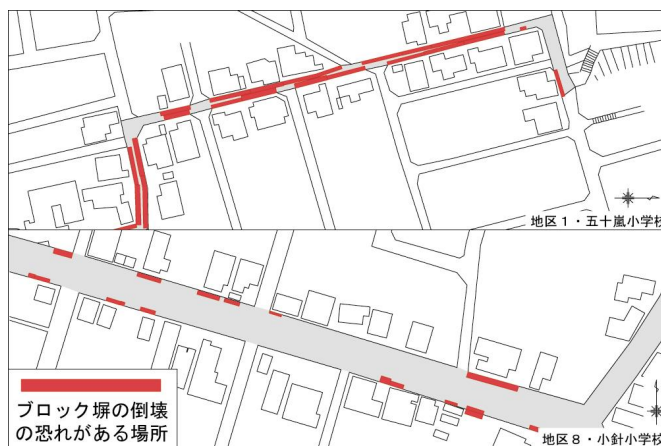


図-5 ブロック塀倒壊による街路閉塞予測図

3. 組積造壁面外方向載荷試験

3.1 実験計画

(1) 試験体概要

ブロック、目地モルタルは、これまで筆者らが検討を行ってきたもの⁶⁾と同等のものを用いた。ブロックの形状は図-6 に示すように従来型としての直方体と、凹凸のあるものを用いた。凹凸の噛み合い深さは、10mm と 15mm の 2 種とした。モルタル強度は過去のれんが強度に近くなるようセメント：砂：水=1：2.5：0.55(重量比)とした。目地は5mm厚とし、そのモルタルの配合は昨年の実験と同様にセメント：砂：水=1：8.49：1.25(重量比)とした。材料強度は表-2 に示すとおりで、実験時のブロックの材齢は約 4 ヶ月で、目地モルタルは7日である。

試験体は直列に積み上げたもの両端に溝形鋼をあてロードセルを挟み込み全ねじで締め付け

ることで所定の軸力を与えた後に面外方向に曲げ載荷を行った。試験体端部の詳細を図-7 に、試験体詳細を図-8 に示す。試験体はブロックの形状と加力手法をパラメータとした。試験体一覧を表-3 に示す。

(2) 載荷計画

加力は万能試験機で行い下部スパン 500mm、上部 100mm の 4 点曲げ載荷 (以下 A シリーズ) 3 体と下部スパン 220mm の 3 点載荷 (以下 B シリーズ) 2 体とした。軸力は 2 本の全ネジ (M12) をそれぞれ 2.5kN で緊張し、計 5kN の軸力を与えた。形状の異なる試験体で同一条件とするため軸力を一定とすることとし、加力中もネジを緩めていき 5kN を保持した。荷重はヘッドに取り付けたロードセルで計測し、変位は試験機ヘッド位置で計測した。

表-2 材料強度

	引張強度 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)
ブロック	8.48	58.4
目地モルタル	0.570	3.37

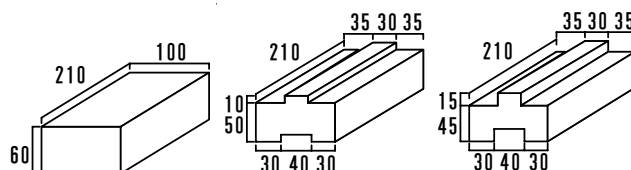


図-6 ブロック形状

3.2 実験結果

(1) 実験結果

スパンの長いAシリーズでは全て中央部の目地下部が剥離し剛性が低下するが耐力は上昇し続け、変位がbm005A, bm105Aで2mm, bm155Aで0.4mm付近において最大荷重となりその後耐力低下し始めた。しかし耐力低下後も目地部が開くものの崩壊はせず変位30mm前後まで耐力を維持した。加力終了後は、全ての試験体で崩壊することなく目地部の開きは閉じて一体性を保っていた。荷重-変形関係を図-10に示す。最大耐力は、1.79kN, 2.16kN, 2.31kNとなり噛み合いがあるものは無いものに比べて噛み合いが深いほど高く、それぞれ約20%, 30%上昇していた。

スパンの短いBシリーズは、直方体ブロックの噛み合いのないbm005Bでは目地が開くことなく目地がずれることで変形が進み摩擦によって耐力を保持していた。噛み合いのあるbm155Bは試験体中央下部の目地が開いた後も耐力が上昇しブロックがひび割れたことで急激

表-3 試験体一覧

試験体名	荷重方法	噛み合い深さ (mm)
bm005A	4点曲げ荷重	0
bm105A	4点曲げ荷重	10
bm155A	4点曲げ荷重	15
bm005B	3点曲げ荷重	0
bm155B	3点曲げ荷重	15



図-9 試験装置

に変形が進み始めたため加力を終了した。ひび割れの様子を図-11に示す。最大耐力は、直方体ブロックで6.61kN, 噛み合いのあるブロックで8.45kNとなった。荷重-変形関係を図-12に示す。

(2) 計算値との比較

曲げ破壊による曲げ耐力、目地部ひび割れ後に試験体中央で断面応力がすべて引張りとなる時の耐力（以下、試験体最外縁でのモーメントの釣合いより求めることから文献10)に従い釣合い耐力と称す）、目地部摩擦滑りにより決まる摩擦力と比較した。曲げ耐力は、目地部の接着強度で決まる、昨年度実施した目地部とブロックの接着応力度の平均値 $\sigma_t = 0.18\text{N/mm}^2$ を用いて、式(1)により求めた。釣合い耐力は、図-13に示すとおりA点での軸力Nと面外方向力Pと

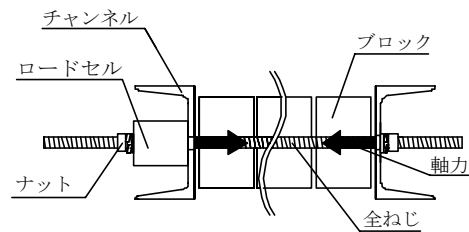
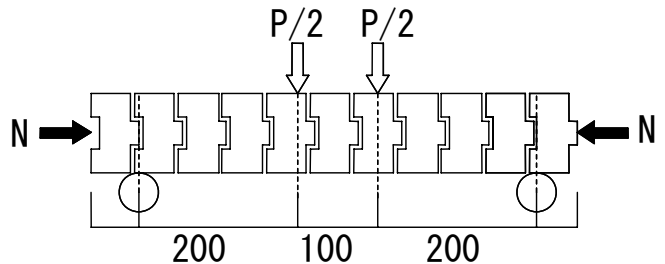
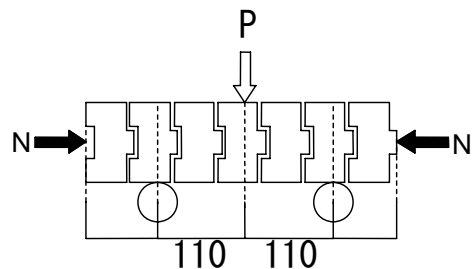


図-7 試験体端部詳細



4点荷重試験体 (Aシリーズ)



3点荷重試験体 (Bシリーズ)

図-8 試験体形状及び加力位置図

のモーメントの釣合いより式(2)により求めた。

$$P = \frac{2Z}{L_1} \left(\sigma_t + \frac{N}{A} \right) \quad (1)$$

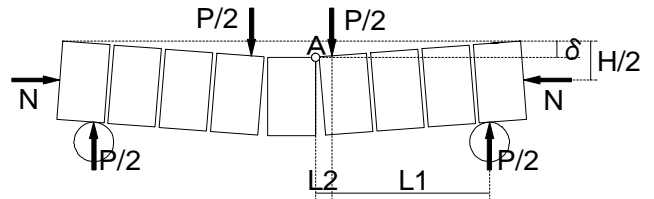
$$P = \frac{1}{L_1} (H - 2\delta) N \quad (2)$$

Z: ブロック断面係数, A: 断面積, H=せい
N: 軸力, σ_t =接着応力度, L_1 =支点間距離

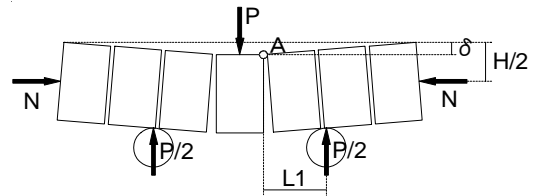
また B シリーズ bm005B では目地部が開かずに滑ったため軸力 N に摩擦係数を乗じた値も合わせて示した。摩擦係数は図-14 に示すように実験後のブロックを用いて約 2.4~32.8kg の 3 種の錘で摩擦試験を行い各 3 回計 9 回計測値の平均 0.60 とした。それぞれの計算値を図-10, 12 にあわせて示す。

A シリーズでは、噛み合いのない bm005A の最大耐力が曲げ耐力に近い値であることがわかる。噛み合いのある bm105A, bm155A は噛み合い深くなるほど耐力は大きくなり、釣合い耐力に近い値まで上昇した。変位 5mm 程度までは高い耐力を保持するがその後は釣り合い耐力に沿

うように低下した。B シリーズでは噛み合いがなく目地部の滑った bm005B では摩擦によって耐力が決まっていると考えられる。bm155B は目地部がひび割れた後も変形が 15mm 程度まで高い耐力を保持した。最終的にブロックが破壊しており噛み合いによりブロックの耐力を発揮したと考えられる。



4 点载荷試験体 (A シリーズ)



3 点载荷試験体 (B シリーズ)

図-13 曲げ耐力及び釣り合い耐力の算定方法

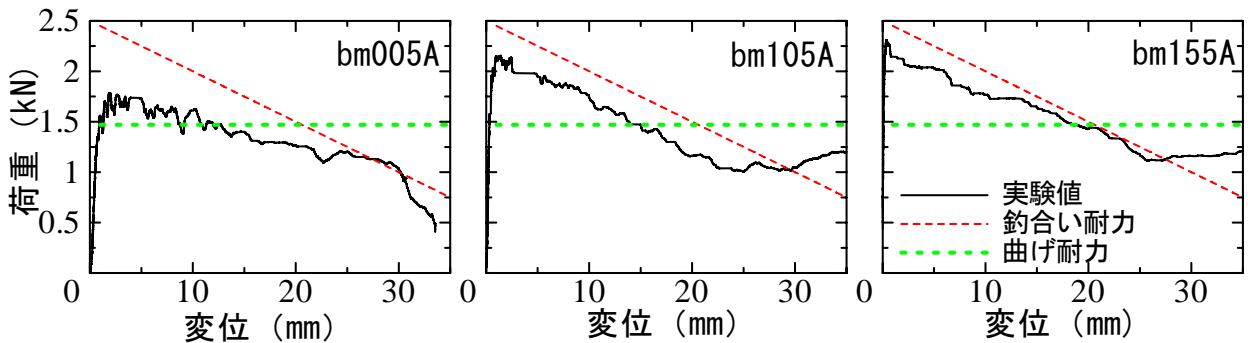


図-10 4 点载荷試験 (A シリーズ) 荷重-変形関係



図-11 bm155B 破壊状況

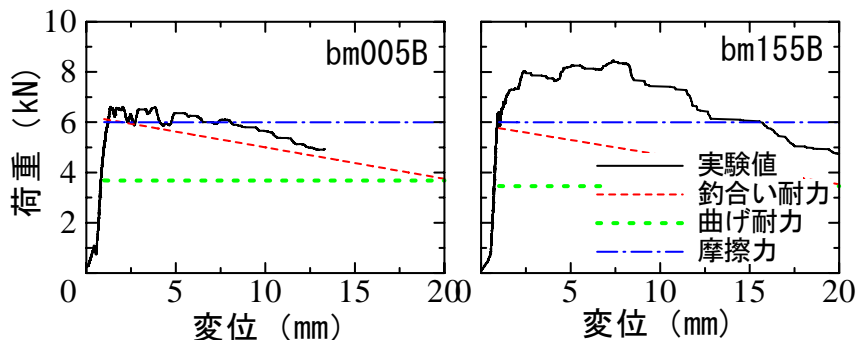


図-12 3 点载荷試験 (B シリーズ) 荷重-変形関係

3.3 ブロック塀倒壊防止策

前節で示した実験では軸拘束力は全ネジを用いて締めつけることで、曲げにより目地部は開くものの一体性を保ったまま変形角 1/10 以上まで崩壊しなかった。このことは、ブロック塀を 図-15 に示すように締め付け軸力を与えることで倒壊を防ぎ、従来の控え柱や壁の設置といった曲げ強度を上昇する為の補強工法とは異なる倒壊防止策の可能性を示している。ただし基礎部分の取り付け等詳細は検討が必要である。

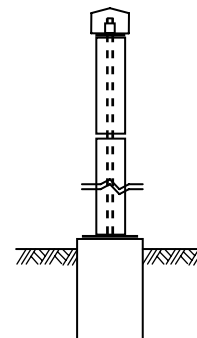
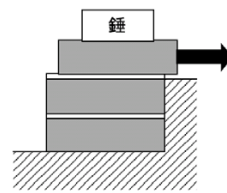


図-14 摩擦試験 図-15 倒壊防止策一例

4. まとめ

結果を以下にまとめる。

(1) ブロック塀の実態調査

新潟市西部地区の指定緊急輸送路から避難場所までの経路に面する塀の実態調査を行った。その結果大半に塀に基準を満たしていない項目があった。地震時に倒壊すると仮定したとき逃げ場がなくなるほど閉塞面積割合が高くなる箇所が住宅地に多くあることがわかった。基準に適合していない項目のうち半数は控壁の未設置のみによるものであり、控壁の設置を必要としない工法、補強法の開発が必要であるといえる。

(2) 面外曲げ実験

モルタルブロックを用いて面外曲げ試験を行った。補強鉄筋を有しない組積造では、ブロックと目地モルタルの接着強度による曲げ耐力が求まり、凹凸による噛み合いがある場合は、耐力は釣り合い耐力近くまで上昇した。せん断耐力は摩擦力によって決まり、噛み合いがある場合にはブロックの耐力まで上昇することがわかった。軸力を与えることで大変形時も耐力を維持したまま一体性を保つことがわかった。

(3) 塀の倒壊防止策への適応可能性

今回実験を行ったようなボルトによる手締め程度の軸力の付加により目地部は開くものの倒壊せずに一体性を保つことが明らかになり、ブロック塀の倒壊防止策への適用の可能性を示した。ただし基礎部との結合方法などの更なる検討が必要である。

参考文献

- 1) 呂恒俟, 宮野道雄, 地震時の人的被害内訳に関するやや詳細な検討, 大阪市立大学生活科学部紀要, No.41 pp.67-80, 1993
- 2) 岡田恒夫, 土岐憲三他, 地震防災の事典, 3.8.1 人的災害と死傷原因, 朝倉書店, 2000
- 3) 日本建築学会, 2005 年福岡県西方沖地震災害調査報告, 日本建築学会, 2005
- 4) 家田, 上西, 猪俣, 鈴木, 阪神・淡路大震災における「街路閉塞現象」に着目した街路網の機能的障害とその影響, 土木学会論文集, No.576, IV-37, pp.69-82, 1997.10
- 5) 赤倉, 光橋, 中本, 大規模地震による街路閉塞予測シミュレーションの構築, 土木学会論文集, No.632, IV-45, pp.77-92, 1999.10
- 6) 真田, 中村, 山内, 崔, 中埜, 枠組組積造壁の水平力抵抗機構から推察される無補強組積造建築の高耐震化技術, 日本建築学会構造系論文集第 605 号, 2006.7
- 7) 新潟市都市防災課, 防災マップ(坂井輪地区), 新潟市
- 8) 日本建築学会, ブロック塀施工マニュアル 付録9 ブロック塀診断カルテ, 2005
- 9) 日本建築学会, 2004 年新潟県中越地震コンクリートブロック塀等被害調査報告, コンクリートブロック塀設計基準改定 WG, 2005
- 10) 岩下他, レンガ組積造建築物の構造性能に関する実験的研究(その3 本試験:圧縮試験, 直接せん断試験), 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp.815-816, 2006.9