レンガ構造物のせん断耐力に関する実験および解析

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 田所 敏弥

東急建設(株) 正会員 服部 尚道

正会員 鳥取

誠一

1.はじめに

数多くの鉄道レンガ構造物が現在も供用されているが, その力学的な性能は明らかになっていない(写真1参照).

レンガと目地モルタルにより構成されるレンガ構造物が, 地震時に所定の性能を確保するためには,鋼板接着等の補 強が必要となる.しかし,耐震補強により曲げ耐力の向上 を図る場合,RC構造と同様,脆性的なせん断破壊が曲げ破 壊に先行することを避けなければならない.そのため,レ ンガ構造物の耐震補強においては,曲げ耐力とともにせん 断耐力の評価が重要となる.そこで,本研究ではレンガ橋 脚を想定した模型供試体による載荷試験とFEMを行った. 2.模型供試体による載荷試験

(1) 載荷試験の概要

レンガ橋脚のせん断耐力について検討するため,レンガ 橋脚を模擬した供試体による水平載荷試験を行った.実験 においては,せん断破壊を曲げ破壊に先行させる必要があ るため,鋼板接着により曲げ耐力を増加させた.補強鋼板 は,6mm 鋼板(SS400)をセメント系充填材とD25のジベ ル筋によりレンガく体に接合した.さらに,アンカー筋の 降伏を避けるためアンカー筋の断面を鋼板断面より大きく 設定し,アンカー筋は,供試体の台座に直接接合した.

表1 実験パラメータ

	使用材料	軸応力 N/mm ²
No.1	モルタル1(表2参照)	1.0
No.2	モルタル2(表2参照)	1.0
No.3	モルタル1(表2参照)	2.0

表 2 材料特性値

	c : s	w/c	f'c	f_{t1}	f_{t2}	
レンガ	-	-	36.6	2.	.9	
モルタル1	1:5	107.7	11.5	1.1	1.2	
モルタル2	1:3	59.3	45.3	1.6	2.2	
c:s: セメント砂比(容積比), w/c: 水セメント比, f'c:						

C・S・ビスクトしに(谷積に), w/c・Nビスクトに, f 。.
 レンガ, またはモルタルの圧縮強度(N/mm²), f_{t1}:レンガ, または縦目地の接着強度(N/mm²), f_{t2}:レンガ,または横目地の接着強度(N/mm²))

表3 実験結果

	ひび割れ	ひび割れ	ひび割れ			
	発生荷重(kN)	発生荷重(kN)	発生荷重(kN)			
No.1	60	148	157			
No.2	90	165	218			
No.3	135	なし	286			
ひび割れ :基部の曲げひび割れ(図2参照) ひび割れ :中段からの曲げせん断ひび割れ(図2参照)						

ひび割れ:甲段からの曲りせん断ひび割れ(図2参照)

ここで,供試体の形状を図1に,実験パラメータを表1に,また,表1に示すモルタル1および2の材料特性値 をレンガの材料特性値とともに表2に示す.目地強度についてはレンガを手作業で積み上げていくため,ばらつき を有しているが,横目地に対し縦目地の強度が小さいことがわかる.

(2) レンガ部材のせん断耐力

実験結果を表3に示す.載荷に従って,基部の曲げひび割れが発生し(ひび割れ),そして鋼板とく体との付着 切れにともない中段からの曲げせん断ひび割れが発生した(ひび割れ).そして,最後に載荷点近傍から対角に45° 方向のひび割れが発生して破壊に至った(ひび割れ).ここで,この荷重をせん断耐力と定義する.なお,発生し たひび割れは,ほとんどが目地に沿ったひび割れであった.

No.1 供試体の破壊時のひび割れ性状を図 2 に示す.No.1 供試体は,モルタル 1 を用いて,軸応力を 1.0 N/mm²とした基準供試体である.No.1 供試体は,60kN のとき基部の目地に曲げひび割れが確認された.そして,148kN のと



キーワード:レンガ,目地,せん断,水平載荷試験,FEM

連絡先:〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38(財)鉄道総合技術研究所コンクリート構造 TEL:042(573)7281

き下から 2 段目のジベル筋近傍に曲げひび割れが発生した.そして 157kN のとき載荷点にひび割れが発生したと同時に,対角の基部ま でひび割れが進展し破壊に至った.このときの荷重 157kN を No.1 供 試体のせん断耐力とした.目地強度を1.5 倍に設定した No.2 供試体, 軸応力を2.0 N/mm²とした No.3 供試体のひび割れ発生荷重を表3 に 示す.このようにレンガ部材のせん断耐力は,目地強度,軸力に大 きな影響を受けることがわかる.

3.FEM による検討

(1) 解析概要

FEM により構造物の挙動を再現する場合,ひび割れの発生および 進展の表現が重要な課題となる.主なひび割れの表現方法としては, 200 分散ひび割れモデルとがある.レンガ構造においては,載荷試験か 56も明らかなように,ひび割れは目地に発生する.つまり,ひび割 れの発生箇所があらかじめ特定できるため,レンガ,目地モルタル, 目地界面の要素からなる離散ひび割れモデルにより解析を行った. (2)解析モデル

 No.1
 No.2
 No.3

 実験(kN)
 157
 218
 286

 解析(kN)
 164
 226
 245

 実験/解析
 0.95
 0.96
 1.16

解析結果一覧

表4





目地のモデル化,および接合要素のモデルを図3に示す.要素分 割は,レンガ,目地モルタル,補強鋼板,載荷板を平面応力要素で,目地界面を接合要素でモデル化した.なお, レンガは要素分割の都合上,レンガ単体を複数の平面応力要素に分割した.

図3に示すようにレンガ間の目地は,目地モルタルを平面応力要素,目地モルタルとレンガの界面は,せん断ば ねと鉛直ばねからなる接合要素によりモデル化した.接合要素における Coulomb 則は,材料試験の結果を参考¹⁾に, 粘着力 c は目地の接着強度 f,と同値とし,摩擦係数 tan は 1.0 とした.また,強度に達した後は,鉛直ばねは応 力開放するモデル,一方,せん断ばねはせん断応力を伝達するモデルとした.せん断ばねのモデル化に関する検討 の結果,せん断応力を伝達するモデルが応力を開放するモデルよりも実験結果を精度よく再現したため,せん断ば ねは応力を伝達するモデルとした.なお,除荷時のモデルは,鉛直,およびせん断モデルともに原点指向型とした. 補強鋼板,および充填モルタルについても同様に,補強鋼板,および充填モルタルは平面応力要素とし,充填モル タルとレンガく体の界面は,図3に示すモデルとした.また,アンカー筋,ジベル筋についてはトラス要素とし, 鋼板,レンガ,および基部の節点にそれぞれ剛結合した.

(3) FEM による実験結果の検証

実験および解析により得られた供試体のせん断耐力を表4に示す.解析は実験結果を±20%の精度で再現することができた.レンガ供試体は,レンガを手作業で積み上げ製作するため,RC供試体に比べると製作精度は大きく低下する.その点を考慮すると解析結果は,実験を概ね再現していると考えることができる.

基準供試体である No.1 供試体により,変形およびひび割れに関して検証を行い,解析結果の妥当性を確認した. 解析によって得られた荷重-変位関係,変形図を図4および図5に示す.なお,確認を容易にするためレンガ内の 要素分割は省略し,変形図は変形量を拡大して表示した.図5より,供試体には基部の目地の曲げひび割れ(ひび 割れ),中段からの曲げせん断ひび割れ(ひび割れ),載荷点近傍からのせん断ひび割れ(ひび割れ)の発生 が確認できる.また,各ひび割れが発生した荷重は,基部の曲げひび割れが85kN,曲げせん断ひび割れが145kN, せん断ひび割れが164kNであった.このように,離散ひび割れモデルによるFEMにより,レンガ供試体のひび割れ の発生荷重(表3参照)および発生位置を概ねシミュレーションすることができた.

4.まとめ

(1)レンガ構造物のせん断耐力および破壊を離散ひび割れモデルによる FEM により再現できる可能性を示した. (2)レンガ構造物のせん断耐力は,目地強度および軸力に大きく依存することがわかった.

参考文献

1)川村,田所,長谷川,鳥取:既設レンガ構造物の材料特性について,年次学術講演会講演概要集, -183, pp.356-366, 2005