

京都大学工学部 学生員

○中道尚宏

京都大学工学研究科 正会員

清野純史

立命館大学歴史都市防災研究センター 正会員 Hari Ram Parajuli

京都大学工学研究科 正会員

古川愛子

1. はじめに

ネパール文化の中心地であり、ヒマラヤ造山帯の一部に位置するカトマンズバレーには、ヒンドゥー教や仏教の寺院などの歴史的建造物が多数存在しているが、カトマンズバレーは地震多発地域であり、何世紀にもわたって歴史的建造物の消長が繰り返されてきた。

また、カトマンズにおける地震被害推定も行われているが、その被害推定は主に住家被害を対象としたものであり、歴史的建造物を対象としたものではないため、現存する歴史的建造物が保有する耐力については未知の点が多い。そこで、本研究では歴史的建造物が保有する耐力を明らかにするための過程として、歴史的建造物を構成する組積造要素群の物性値を得ること、また、得られた物性値を用いて実際に 3 次元の有限要素解析を行い、その結果を比較して物性値の妥当性を検討することを目的とする。

2. 組積造要素群の強度試験

(a) 圧縮試験

図 1 のような供試体 6 つの上面に一樣に鉛直荷重を徐々に加えていった。このときの荷重と鉛直変位から、圧縮応力と軸ひずみを求め、さらにその圧縮応力と軸ひずみからヤング係数を求めた。得られたヤング係数は約 $16 \sim 37(\text{N/mm}^2)$ であった。

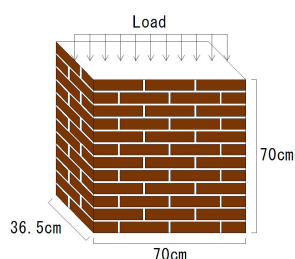


図 1 圧縮試験の概要図

(b) セン断圧縮試験

次に、図 2 に示すような供試体 5 つに 1tonf の鉛直上載荷重をかけた状態で、供試体上部に水平荷重を一樣に徐々に加えていった。このときの荷重と水平変位から、せん断応力とせん断ひずみを求め、そのせん断応力とせん断ひずみからせん断弾性係数を求めた。さらにせん断弾性係数からヤング係数、せん断波速度を求めた。得られたせん断弾性係数、ヤング係数、せん断波速度はそれぞれ約 $74 \sim 211(\text{N/mm}^2)$ 、 $185 \sim 527(\text{N/mm}^2)$ 、 $195 \sim 330(\text{m/sec})$ であった。

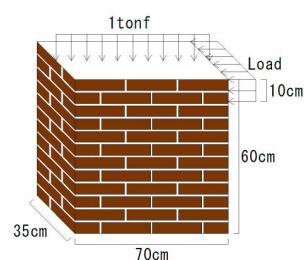


図 2 セン断圧縮試験の概要図

(c) 斜め圧縮試験

最後に、図 3 に示すような供試体 1 つに対して鉛直荷重を徐々に加えていった。この供試体の幅は 36.5cm である。また、固定用治具の大きさは、上部が $19.5 \times 19.5\text{cm}$ 、下部が $20 \times 20\text{cm}$ で、どちらも供試体に一樣に荷重を加えるために、供試体よりも厚いサイズのものを用いている。

この実験では鉛直荷重を圧縮方向成分とせん断方向成分に分け、それぞれを圧縮荷重、せん断荷重として考えている。このせん断荷重とせん断方向の変位から、せん断応力とせん断ひずみを求め、そのせん断応力とせん断ひずみからせん断弾性係数を求めた。さらにせん断弾性係数からヤング係数、せん断

波速度を求めた。得られたせん断弾性係数、ヤング係数、せん断波速度は、 $253(\text{N}/\text{mm}^2)$ 、 $586(\text{N}/\text{mm}^2)$ 、 $348(\text{m}/\text{sec})$ であった。

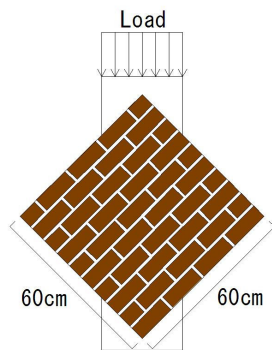


図 3 斜め圧縮試験の概要図

3. 3次元有限要素解析を用いた実験の再現

(a)均一モデルでのせん断圧縮試験の再現

2-(b)で得られた物性値の平均値を用いて3次元有限要素解析を行った。2-(b)と同様の大きさの均一な壁のモデルについて線形解析を行った。

荷重は10kNの鉛直荷重と35kNの水平荷重を上面の各節点に分配し、また、底面の節点は全方向に拘束した。このモデルをモデルAとする。このモデルでは、均一な壁の底面を固定して、上面に荷重を加えているため、曲げの様な変形モードが現れた。一方で、変位については、実験結果の線形部分に相当する部分で良い一致が見られた。

(b)線形ジョイント要素を用いたせん断圧縮試験の再現

次に実際の組積造要素群と同様のモデルに対して線形解析を行った。ただし、組積造要素群のモルタル部分にバネを用いたジョイント要素を配置して考えた。このモデルをモデルBとする。

モデルBの大きさは2-(b)と同じで、荷重は10kNの鉛直荷重を上面の各節点に、35kNの水平荷重を実験で荷重を加えた箇所に該当する部分の節点にそれぞれ分配し、底面の節点は全方向に拘束した。このモデルでは、変形は主にジョイントで担保しているため、モデルAで見られた曲げの様な変形モードは現れなかった。また、変位はモデルAと比較すると少し実験結果の線形部分に近い結果が得られたが、その差は非常に小さいものであった。

(c)非線形ジョイント要素を用いたせん断圧縮試験の再現

最後にモデルBと同じモデルに対して非線形解析を行った。このモデルをモデルCとする。

モデルCは大きさ、荷重、拘束の全てモデルBと同様であった。この解析では、図4に示すようにクラックが現れたが、実験では2つのクラックが現れたのに対し、解析ではそのうちの1つのクラックしか再現されなかった。また、変位は30kNのところでクラックが発生するような挙動を示しており、実験に近いものとなった。

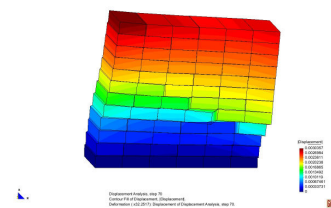


図 4 モデル C の解析結果

4. 結論

今回行った3つの強度試験において、圧縮試験で得られたヤング係数だけが非常に小さいものとなった。この原因として養生が不十分であったことが考えられる。他の2つの実験については妥当な物性値を得ることができたといえる。

また、せん断圧縮試験で得られた物性値を用いて行われた3次元有限要素解析では、線形解析においては実験結果の線形部分に相当する部分で良い一致が見られた。また、非線形解析では、クラックの発生位置が正確には再現できなかったが、クラックの発生する荷重は実験結果に近いものとなった。

今後の課題としては、クラックを正確に再現できなかった非線形モデルの式の見直し、また、レンガ、モルタルそれぞれの特性を得るために、さらに細かい要素レベルでの実験を行う必要がある。

5. 参考文献

- 1) 古川愛子、清野純史、土岐憲三、谷口仁士、H. R. Parajuli、P. N. Maskey：ネパールの歴史的組積造建造物の地震時挙動について、歴史都市防災論文集、Vol. 4、pp.141-148、2010。