

イラン・バム遺跡における日干し煉瓦と目地の力学的物性値の推定

埼玉大学	学生会員	村上	和哉
埼玉大学	正会員	長田	昌彦
埼玉大学	正会員	渡邊	邦夫
埼玉大学		小口	千明

1. はじめに

2003年12月イランのバム地方で起こったマグニチュード6.6の地震により、日干し煉瓦構造物であるイラン・バム遺跡は大規模な被害を受けた。日干し煉瓦構造物は地震動に対して非常に脆弱であり、この地震により遺跡では8割以上が崩壊し、また一般家屋等についても膨大な被害がみられている。現在これらの日干し煉瓦構造物の修復作業が行われているが、繰り返されるであろう地震被害を軽減するための補強技術とその評価方法の開発が必要とされている。本稿では、その第一段階として2005年12月に行った現地調査をもとに、日干し煉瓦構造物を構成する日干し煉瓦と目地の力学的物性値の推定を試みた結果を報告する。

2. 調査方法

図-1は、モスクに向かう通路の壁が地震により亀裂が入った状態で残存している部分の写真である。地震動の入力方向は、多くの柱などの倒壊方向から写真の左右方向であると推定されている。亀裂は、煉瓦と煉瓦を埋める目地の部分をアミダ状に選択して進展しており、日干し煉瓦構造物における破壊様式の典型的な例である。したがって日干し煉瓦構造物の強度特性を把握するためには、煉瓦と目地の境界部における強度特性を求める必要があるが、現在のところ直接せん断試験などによる評価はなされていない。



図-1 地震により亀裂が発生した日干し煉瓦壁面
(バム遺跡)

またこのような遺跡では、構造物を作成した年代も場所ごとに異なるため、平均的な値を求めることも難しい面がある。このような点を鑑み、今回は簡易試験である針貫入試験とエコーチップ反発強度試験を行うことにより、煉瓦と目地の力学的物性値を個々に求めることとした。

表-1 針貫入試験結果の一覧

場所	対象	NP (N/mm)	標準 偏差	qu (MPa)
barrack	old mud brick	14.22	4.12	5.33
	new mud brick	19.03	4.41	7.08
	old mortar	8.24	-	3.12
	new mortar	9.32	3.53	3.52
mosque	old mud brick	19.42	3.43	7.23
	old mortar	13.24	3.73	4.97
ice house	old chine	11.09	5.20	4.18

3. 針貫入試験結果

針貫入試験結果の一覧を表-1に示す。試験は複数点において実施して平均値と標準偏差を求めている。針貫入勾配(NP; N/mm)は、材料の一軸圧縮強さと相関があることが示されている。ここでは、岡田ら¹⁾の関係式、

$$\log qu = 0.978 \log NP + 2.599 \quad \text{ここに } qu : \text{一軸圧縮強さ(kPa)} \quad (1)$$

を用いて一軸圧縮強さを計算し、表中に合わせて示してある。

キーワード バム遺跡, 針貫入試験, エコーチップ反発強度試験, 強度特性

連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保225 埼玉大学地圏科学研究センター TEL 048-858-3547

計測は、日干し煉瓦(brick)と目地(mortar)のほか、チネ(chine)と呼ばれる土材料をつき固めた箇所についても行った。また地震後修復作業のために作成された材料については、newという表記を用いている。結果をみると、場所ごとに強度にバラツキはあるものの、同時期に作成された日干し煉瓦に対して目地の強度が小さいことがわかる。

この関係を示したものが表-2である。兵舎(barrack)で現在修復されている材料では、日干し煉瓦と目地の強度比が小さく、時間が経つにつれて煉瓦と目地が一体化してくることを定性的に表現していると考えられる。氷室(ice house)で計測したチネについては、つき固めただけにしては比較的大きな強度を有している。これは、チネの表面における水分移動に伴い、何らかの白色鉱物が析出したため強度を増加させていると考えられるが、さらに検討が必要である。

表-2 日干し煉瓦に対する目地強度の比

場所	対象	強度比
barrack	old	0.58
	new	0.49
mosque	old	0.68

4. エコーチップ反発強度試験結果

エコーチップ反発強度試験結果の一覧を表-3に示す。計測は、煉瓦、目地、チネのほか、参考のために焼成煉瓦と岩石についても行った。この試験はその計測原理から材料の弾性的な性質を主に反映していると考えられるので、橋本ら²⁾の結果を考慮してエコーチップ値(Ld)と静的弾性係数(E50; GPa)の関係を次式により換算した。

$$\log E_{50} = 3.279 \log L_d - 7.688 \quad (2)$$

表より、明らかに岩石や焼成煉瓦のE50は大きな値を示している。日干し煉瓦と比較して目地の値が小さくなっていることは全体として表現できており、針貫入試験の結果とも調和的である。また現在修復作業のために作成された材料についても、古い煉瓦の物性と同等かそれ以上の値となっていることが把握できる。煉瓦の大きさは、通常25cm

表-3 エコーチップ反発強度試験結果の一覧

場所	対象	平均	標準偏差	換算E50(GPa)
Tower4	baked brick	298.5	45.1	2.681
near citadel	old large brick	214.6	25.5	0.908
	old small brick	212.1	36.1	0.874
barrack	old brick	213.8	30.0	0.898
	new brick	241.2	25.7	1.332
	new mortar	214.7	21.4	0.910
	rock fragment	821.0	—	73.996
Mosque	old brick	232.4	41.2	1.180
	old brick	233.6	39.1	1.200
	old mortar	201.4	31.6	0.738
	old mortar	206.1	43.4	0.795
	baked brick	406.1	32.5	7.359
ice house	chine white	222.0	31.3	1.015
	chine brown	179.1	34.3	0.502
	chine brown	163.7	21.3	0.374
citadel	rock	689.6	142.7	41.765

角(smallと記載)の大きさのものが使われているが、古い時代の煉瓦には40cm角(largeと記載)のものも使われているが、大きさによらずほぼ同じ物性を有していることもわかる。チネの計測では、表面の白色化した部分と内部の茶褐色の部分では大きく値が異なっており、表面において硬化が生じていることを表している。しかし針貫入試験で得られた日干し煉瓦と目地の強度比の新旧関係は、この試験からは確認できなかった。

この他、現在修復作業で用いられている日干し煉瓦の強度発現についての検討も行っている。Ld値による評価から、日干し煉瓦そのものはおよそ10日間で古い時代の煉瓦と同等の物性まで硬化することがわかった。

5. おわりに

日干し煉瓦構造物の修復作業のために必要となる基礎的な物性値を把握することができた。ここで用いた試験方法の信頼性を向上するためには、土材料に対するより精緻なキャリブレーションカーブの必要性が指摘できる。今後は、煉瓦と目地の境界部における強度特性の把握を試みるとともに、このようなブロック状の構造物に対する数値解析手法、例えば不連続変形法などを用いて補強効果の評価方法等を検討する予定である。

参考文献

- 1)岡田滋ほか(1985): 針貫入試験による軟岩地山強度の推定, 土と基礎, Vol.32, No.2, pp.35-38.
- 2)橋本徹ほか(1998): エコーチップ硬さ試験器による岩石材料物性評価の試み, 第33回地盤工学研究発表会, pp.1231-1232.