

IV-321

大坂城石垣の力学特性について

近畿大学大学院 学生会員 矢野 純子
 近畿大学理工学部 正 会 員 久武 勝保
 大阪産業大学工学部 正 会 員 玉野 富雄
 大 林 組 正 会 員 松原 章

1. 緒論

機械化以前の土木施工技術で徳川期初期に再築された大坂城の石垣は、建設後過去4回のマグニチュード7.6～8.4クラスの大地震を経験しているにもかかわらず現存している。そこで、現状の大坂城石垣の力学特性について、有限要素法による静的解析、及び個別要素法による動的解析を行い、種々検討する¹⁾。

2. 解析の概要

有限要素法では、Fig. 1に示すように、反り勾配を有し、かつ石垣石が下に位置するほど斜めに配置されている現状の石垣断面と、反り勾配は有するが石垣石を全て水平に配置した断面の2断面に対して、まず静的自重解析を行う。次に、現状の石垣断面に、重力の20%の水平方向荷重をかけ震度法解析を行う。これらの結果より、Fig. 2に定義する、最大主応力面と石垣面のなす角度(θ)を用いて石垣の安定性の検討を行う。次に、個別要素法ではFig. 1の断面の基盤に阪神大震災の地震動（鉛直・東西方向の両成分）をかけ、各石垣石の上下接触面に発生するせん断応力をそのせん断強さで除した値（以下「せん断応力比」と称する）により、石垣の動的挙動のメカニズムを検討する。Table. 1に解析で使用した材料定数を示す。

3. 結果と考察

3. 1 静的解析

Fig. 3は現状断面の自重解析における主応力を表している。これより上記で定義した θ の値がかなり小さい事が理解できる。次に、Fig. 4は震度法解析から得られた主応力図である。 θ の絶対値は、Fig. 3に比べて若干増加している。Fig. 5は水平配置の場合の解析結果であるが、 θ の絶対値が相当大きくなっているのが理解できる。以上のFigs. 3～5で得られた θ の値について、石垣の上部に原点を有し、ここから石垣に沿って下部に向う座標 s により変化する状況をFig. 6に示す。この様に θ の値を定量的に表現する事により現状石垣の力学的な合理性を確認する事ができる。すなわち、現状石垣は常時において安定性は高く地震に

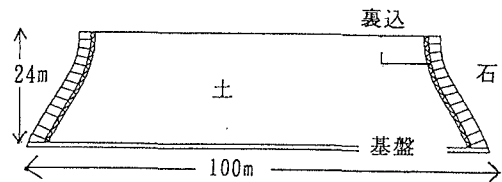
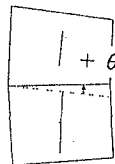


Fig. 1 解析モデル

Table. 1 材料定数一覧表

	石	裏込	土	基盤と要素の間
弾性係数 E (Pa)	0.39×10^{11}	0.49×10^9	0.12×10^9	
ポアソン比 ν	0.15	0.2	0.3	
質量密度 γ (kg/m ³)	2600	2000	1800	
体積弾性係数 K (Pa)	0.19×10^{11}	0.27×10^9	0.10×10^9	0.20×10^{13}
せん断弾性係数 G (Pa)	0.17×10^{11}	0.20×10^9	0.47×10^7	0.22×10^{13}
摩擦角 ϕ (°)	50	45	32	40
粘着力 C (Pa)				0.50×10^6
引張力 T (Pa)				0.50×10^6



—— 石垣面
 - - - 最大主応力面

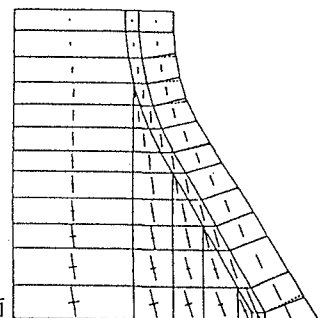
Fig. 2 θ の定義

Fig. 3 現状の石垣（自重）

より若干安定性が低くなっている。
しかし、水平配置の自重解析の場合に比べて安定性は相当高いことから反り勾配に合わせて石垣石に角度を持たせて配置する工法は、非常に有効と思われる。

3. 2 動的解析

Fig. 7(a) は自重解析終了時の石垣断面を表したものである。F

ig. 7 (b) は地震解析開始 6 秒後

の状況であり、裏込材が下方へずり落ちているのがわかる。

また石垣下部においては、石と石の間に透き間の発生や重なりが生じており、ずり落ちた裏込によって石が押し出されているのではないかと推測される。次にFig. 8はせん断応力比の値が1に達した回数について、1秒ごとに加算した結果を表したものである。せん断応力比が1になるといことは、せん断応力が限界状態に達している事を示しており、またその回数が多くなるほど石垣の安定性が低下する事を示している。したがって崩壊の危険性が高くなるともいえる。Fig. 8から石垣上部はその回数が一番多く、中部はその2/3、下部は1/3程度である。このことから、当然の事ながら上部が最も崩壊しやすい状況にさらされていることがわかる。高い位置の石ほど地震応答は大きくなるが一方、現状石垣の場合には上部の石の圧力が、反り勾配と石の配置によりうまく下部に伝達されており、その結果せん断抵抗が下部ほど大きくなる、という効果もあるのではないかとと思われる。

4. 結論
大坂城石垣の力学的合理性を静的・動的解析によりある程度評価することができた。

＜参考文献＞

1) 西田一彦・山野寿男・中村博司・久武勝保・玉野富雄・中川光雄：大坂城石垣の歴史的崩壊記録と安定に関する考察、土木史研究、土木学会、No. 16、pp. 601-608、1996。

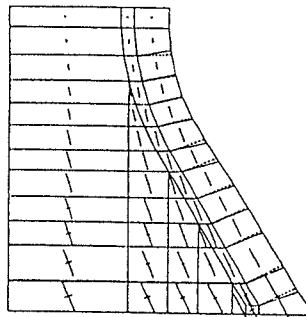


Fig. 4 震度法解析

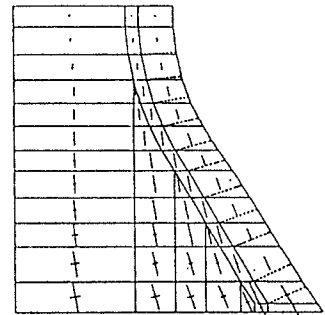


Fig. 5 水平な配置（自重）

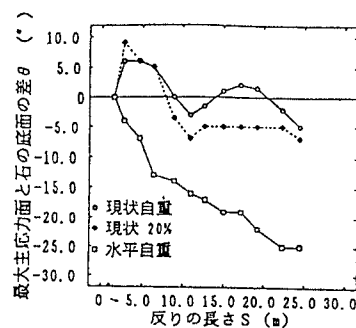


Fig. 6 θ と S の関係

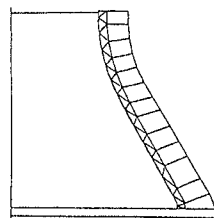


Fig. 7(a)自重解析終了時

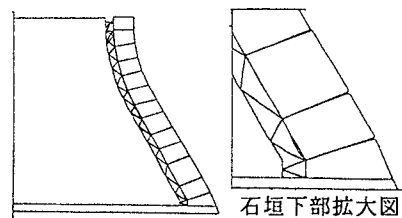


Fig. 7(b)地震解析 6 秒後

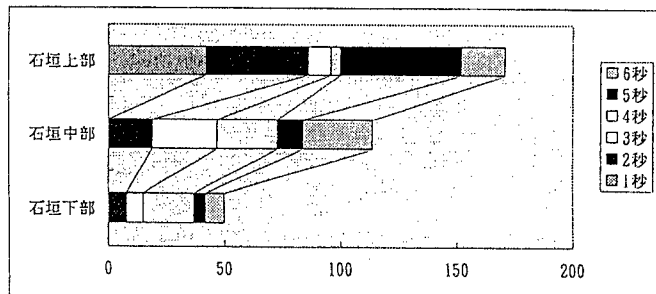


Fig. 8 石垣各部でせん断応力比が1に達した回数