

風化花崗岩の力学特性に及ぼす寸法効果の影響

Scale effect of characterization on heavily-weathered granite

野村直茂*

Naoshige NOMURA

Design method for Honshu-shikoku Bridge foundations was developed, which incorporate up-to-date analytical technics regarding seismic wave input and kinetic interaction of bedrock, etc. Aseismic design is made on various assumptions and technical judgements. On-site loading test was conducted by Honsyu - Shikoku Bridge Authority to supplement numerical solution for heavily-weathered granite. The test included large-scale loading and shearing test. This paper outlines about the scale effect of characterization on heavily weathered granite.

1. まえがき

本州四国連絡橋の長大橋の基礎の設計にあたっては、地震入力・地震時における基礎と地盤の動的相互作用など基礎・地盤に関する最新の知見を取り入れた設計法により設計を行っている。しかしながら、これらの設計法の実証データは少なく、種々の仮定や工学的判断に基づいている。

そこで基礎・地盤に関する諸問題を実際に検証するため、本州四国連絡橋公団では、平成2年度に風化花崗岩を対象として、大規模載荷試験を含む載荷試験を実施し、多くの知見を得た。ここでは、試験結果のうち、主に風化花崗岩の力学特性に及ぼす寸法効果の影響について報告する。

2. 試験内容

2.1 試験位置

載荷試験は、図-1に示すように、広島県因島市の西瀬戸自動車道建設用地内で行った。試験ヤードは、一般道へのランプとなる場所で行い、平坦となるように掘り下げた地盤上で試験を行った。

試験位置における地質は、広島型花崗岩であり、試験用の地盤面での岩級区分は、図-2に示すように、D_M～C_L級である。

*本州四国連絡橋公団企画開発部

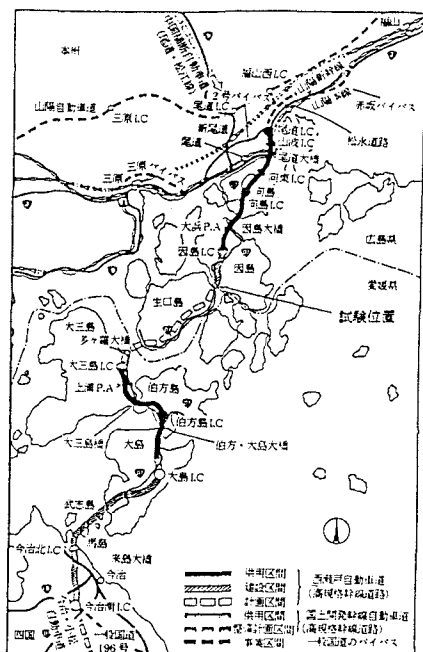


図-1 試験位置

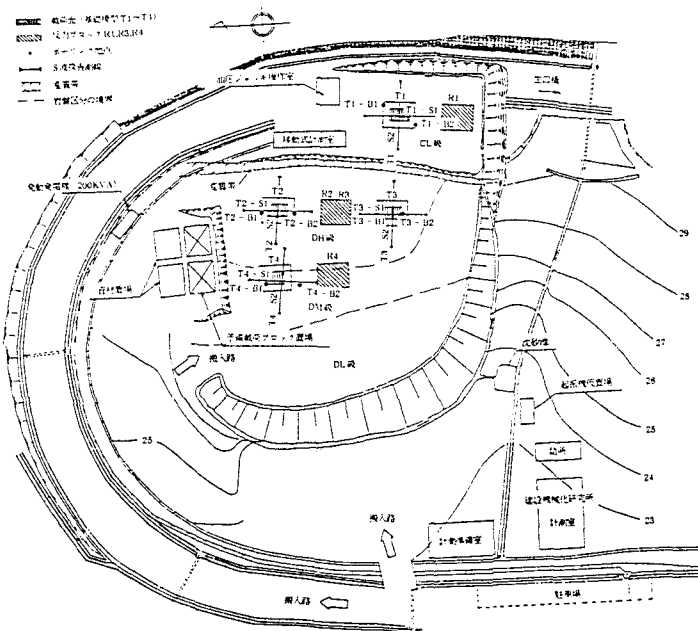


図-2 試験ヤード配置図

2.2 試験内容

荷重試験は、平板荷重試験（ $\phi 30\text{ cm}$ 、 $\phi 60\text{ cm}$ ）とブロックせん断試験（ $30 \times 30\text{ cm}$ 、 $60 \times 60\text{ cm}$ ）から成る小型原位置試験と図-3に示すような試験装置を使用した大型荷重試験から成る。

試験項目のうち、寸法効果の影響をみるために関係ある試験は、静的な荷重試験とせん断試験である。表-1に關係ある試験項目と荷重面積及び試験数量を示す。

表-1 寸法効果に關係ある試験項目

試験項目	形状寸法 (cm)	載荷面積 (cm^2)	数量	採用項目	
				せん断強度	変形係数
室内静的三軸圧縮試験	$\phi 8.5$	33	10	○	○
孔内水平載荷試験	$\phi 8.5 \times 52$	1,405	11		○
小型原位置試験	平板載荷試験 $\phi 30$	707	1		○
	$\phi 60$	2,327	1	○	○
	ブロックせん断試験 30×30	900	6	○	○
大型ブロック試験	60×60	3,600	1	○	○
	鉛直載荷 200×300	60,000	3		○
	せん断試験 200×300	60,000	3	○	

注) 数量はD級岩盤のみである。

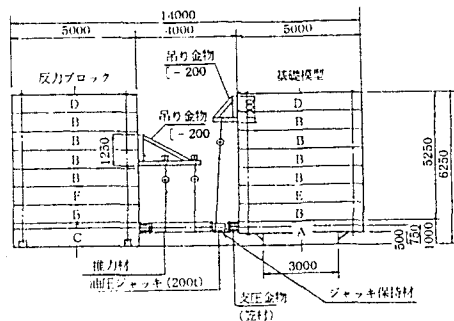


図-3 大型荷重試験装置

3. 試験結果

3.1 セン断強度と寸法効果

せん断試験で載荷ブロック面積の異なるものは、表-1に示すように3ケースある。それぞれの試験結果から寸法効果に関するデータを抜粋して表-2に示す。さらに載荷ブロック面積の違いによるせん断強度の一次強度（ピーク強度）と二次強度（残留強度）について図-4に示す。

表-2 載荷面積の違いによるせん断試験結果（D級岩盤）

区 分	形状寸法 (cm)	載荷面積 (cm ²)	一 次 試 験		二 次 試 験	
			鉛直応力 (kgf/cm ²)	せん断応力 (kgf/cm ²)	鉛直応力 (kgf/cm ²)	せん断応力 (kgf/cm ²)
小型原位置	30×30	900	—	—	4.2	8.1
			—	—	3.4	5.8
			—	—	4.0	7.0
			7.2	11.7	6.5	9.5
			—	—	6.7	10.0
			—	—	4.5	9.4
			—	—	8.7	10.4
			—	—	3.8	6.0
			—	—	4.6	10.0
			5.74	6.5	2.9	3.5
	60×60	3,600	—	—	4.2	4.4
			—	—	5.4	5.3
			4.76	4.19	4.76	4.12
			2.97	3.49	2.97	3.20
			—	—	1.77	2.13
			2.96	2.90	2.96	2.48
大型ブロック	200×300	60,000	—	—	1.77	1.61
			—	—	—	—
			—	—	—	—
			—	—	—	—

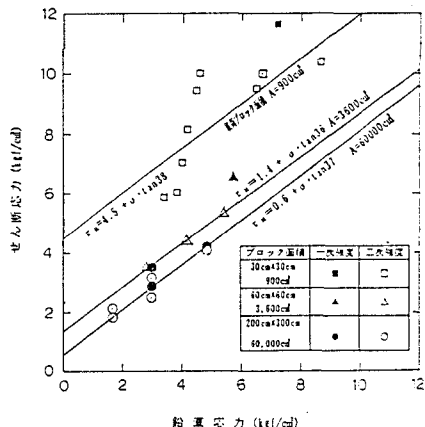


図-4 載荷ブロック面積の違いによるせん断応力（D_H～D_M級）

図-4で、データが多く、試験条件もほぼ同じである二次強度に着目し、最小二乗法により、せん断強度 τ_R と内部摩擦角 ϕ を求めた。これによると ϕ は鉛直応力0～10 kgf/cm²の範囲において、載荷ブロック面積の増加に対してあまり変化はしないが、 τ_R は載荷面積が増加するに伴い低下しており、寸法効果の影響がみられる。

図-5は、既往文献に示されている強度と寸法比の関係図であり、ここに今回実施した試験結果をプロットして寸法効果の傾向をみた。図-5の縦軸は、各種寸法の供試体強度を標準寸法（ ϕ 50 mm）の供試体強度で割った値（強度比）であり、供試体強度は、一軸圧縮強度あるいは測定している τ 、 ϕ からモール・クーロンの破壊基準を用いて換算した一軸圧縮強度である。したがって、図-5にプロットするためには、まず三軸試験およびせん断試験結果より、 τ 、 ϕ を設定しなければならない。今回の試験では、それぞれ一次試験（ピーク強度）と二次試験（残留強度）を行っているため、各試験ごとに τ 、 ϕ を設定し、表-3に示した。

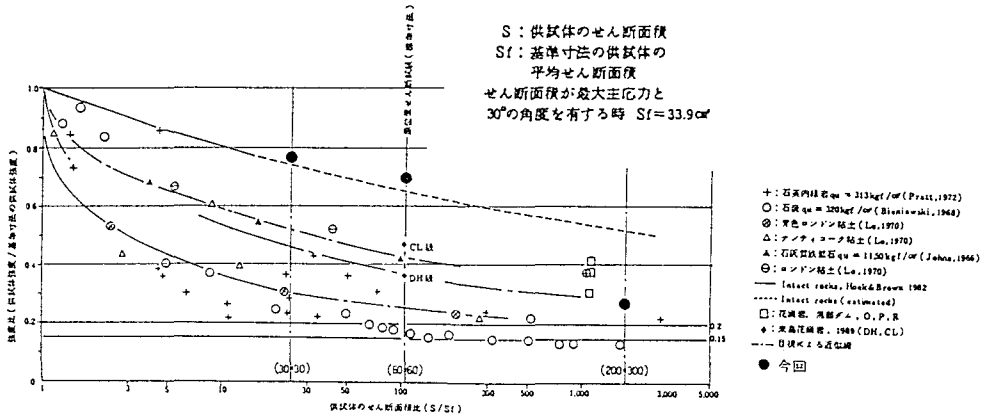
表-3に示した各試験の τ 、 ϕ から、一軸圧縮強度を換算して同表に示した。なお、今回の試験での標準寸法の供試体強度は、室内三軸圧縮試験に用いた供試体径が65 mmであるので、 τ 、 ϕ より求めた換算一軸圧縮強度をさらに、 $\sigma_c = \sigma_{c50} (50/d)^{0.18}$ の関係式¹⁾を用いて標準寸法に換算している。図-5の横軸は、各供試体のせん断面積を標準寸法（ ϕ 50 mm）のせん断面積で割った値（せん断面積比）である。今回の試験結果より換算した一軸圧縮強度および標準寸法に対する割合を算定し、表-3に示すとともに図-5にピーク強度の値をプロットした。

これを見ると、せん断面積比が30および100付近の強度比の低下が既往のデータに比較して小さいが、面積比が2000付近での強度比は、既往のデータと同程度の値となっている。

表－3 換算一軸圧縮強度と強度比および面積比

項 目	形状寸法 (cm)	載荷面積 (cm ²)	せん断強度 τ (kgf/cm ²)	内部摩擦角 ϕ (度)	換算一軸圧縮強度 S_c (kgf/cm ²)	せん断面積 S (cm ²)	強度比 S_c/τ	面積比 S/S_f
普通三軸圧縮試験	6.5	33	2.3 1.0	40 38	* 12.0 4.1	$S_f=34$	1.0	1.0
小型原位置試験	30×30	900	2.5 1.7	38 38	10.0 6.8	900	0.78 1.59	26.5
	60×60	3,600	2.3 1.4	36 36	9.0 5.5	3,600	0.70 1.27	105.9
大型ブロック試験	200×300	60,000	0.9 0.6	37 37	3.6 2.4	60,000	0.28 0.56	1764.7

記)・ S_c は τ 、 ϕ からモール・クーロンの破壊基準を用いて換算した値
 ・*は標準寸法($\phi 50$ mm)の試験体強度に換算した値
 ・ S_f は標準寸法($\phi 50$ mm)の試験体の平均せん断面積
 ・上段のピーク強度、下段の残留強度



図－5 せん断面積の増大に伴う強度低下

3.2 変形係数と寸法効果

変形係数に関して寸法効果の有無を確認するため、関連する試験の結果を表－4にまとめ、図－6に載荷面積との関係を示した。

室内三軸圧縮試験では表－4に示すように、ひずみレベルが0.1%と同一でも拘束圧 σ_3 の差により、変形係数が異なっている。他の試験ではいずれも載荷応力が、概ね1～10 kgf/cm²までの範囲においては、変形係数に対する載荷面積の影響は小さく、それぞれある範囲にばらついており、得られた変形係数の中心値はほぼ一定値を示し、載荷面積が増大するにつれ、ばらつきが小さくなる傾向にある。なお、 $\phi 60$ cmの平板載荷試験の値が小さいのは、計器検定のために載荷面端部3カ所に、 $\phi 100$ mmの削孔を行っているために地盤を痛めた可能性があるためである。

変形係数に影響する因子として、①亀裂や潜在亀裂およびマイクロクラック ②載荷面直下のゆるみ ③ひずみ依存性 ④土被り除荷、掘削、構造物載荷等による地盤内の拘束圧の変化 などがあると考えられる。これらは、互いに相反するところもあるが、図－6に見られるように載荷面積に対し、変形係数はある幅でばらついており、減少あるいは増加の傾向はみられない。

表-4 試験ごとの変形係数 (D級岩盤)

試験項目	形状寸法 (cm)	載荷面積 (cm^2)	載荷応力 (kg/cm^2)	変位量 (mm)	変形係数 (kg/cm^2)	備 考
室内静的三軸圧縮試験	$\phi 6.5$	33	—	—	540	$\sigma \leq 0.1\%$ $\sigma_p = 3 \text{ kg}/\text{cm}^2$
					600	$\sigma \leq 0.1\%$ $\sigma_p = 3 \text{ kg}/\text{cm}^2$
					740	$\sigma \leq 0.1\%$ $\sigma_p = 6 \text{ kg}/\text{cm}^2$
					1150	$\sigma \leq 0.1\%$ $\sigma_p = 6 \text{ kg}/\text{cm}^2$
孔内水平載荷試験	$\phi 6.5 \times 52$	1,405	1.6~12.4	0.023	620	T2 断層1.5m
			2.4~13.8	0.025	580	T3 断層3.5m
			2.2~9.8	0.011	370	T2 断層2.2m
小型原位置試験	平板載荷試験	$\phi 30$	707	2~6	1.30	988
		$\phi 60$	3,827	1~3	3.00	373
	ブロックせん断試験	30×30	900	1~4	1.08	952
				1~4	1.25	818
				1~4	1.43	736
				1~4	1.67	630
				1~4	2.22	464
		60×60	3,600	1	2.58	760
大型ブロック	載荷ブロック	200×300	60,000	1~4.3	10.20	850
				1~4.3	10.10	890
				1~4.3	13.50	640

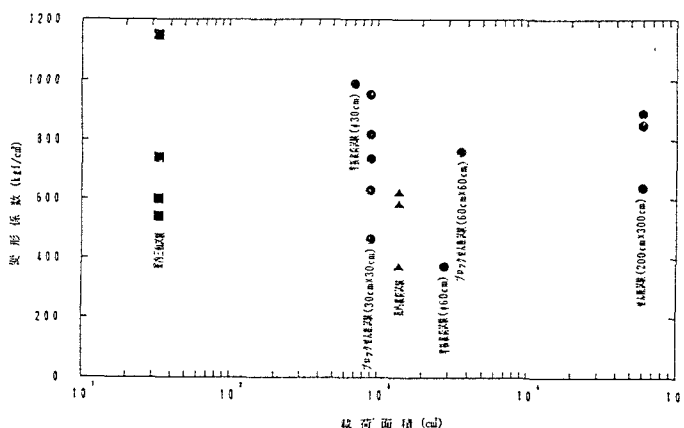


図-6 載荷面積と変形係数

4. まとめ

風化花崗岩 (間隙率 22~28%、平均 25%) を対象に、乱さない供試体による室内三軸圧縮試験、最大の載荷面積が $2 \times 3 \text{ m}$ に至る種々の原位置載荷試験を行った。せん断強度および変形特性の寸法効果に関して得た結果を以下に記す。

- ① 一次と二次のせん断強度は載荷面積が大きくなると強度の差は少なくなる。
- ② 二次強度は、載荷面積の増加に伴い強度が低下しており、寸法効果の影響がみられる。
- ③ 一次強度のせん断面積比と強度比の関係では、せん断面積比の小さい場合は、既往の試験結果に比べ、高めの強度比が、せん断面積比が大きい場合は、ほぼ同程度の強度比が得られた。
- ④ 変形特性には、寸法効果による影響はみられない。

5. 参考文献

- 1) E. フック・E. T ブラウン共著: Underground Excavation in Rock (訳著: 岩盤地下空洞の設計と施工) pp119