

花崗岩に対する亀裂を考慮した強度定数設定に関する考察

西谷技術コンサルタント(株) ○中井 貴彬、木谷 啓二

1. はじめに

岩盤の強度定数は、原位置での力学試験、室内試験を行って求めることが標準とされている¹⁾。しかし、原位置試験や室内試験は岩盤の性状等によっては実施できないことがあり、この場合 N 値から推定する方法や岩級に応じた測定例を採用することが多い。本発表では、斜面上の橋台基礎（深礎基礎）設計に際し、当該地に分布する亀裂の発達した花崗岩の強度定数について、室内試験を中心として調査地固有の強度定数を設定した事例を示し、併せて N 値からの推定、および岩級に応じた測定例とを比較したので、その結果を報告する。

2. 地形・地質概要

調査地は日本海に面した岩盤斜面であり、周辺はリアス式海岸が形成されている。

調査地を構成する地質は古第三紀暁新世の鳥取花崗岩(Gr)を基盤としており、調査地においては、強風化花崗岩(WGr1)[DL~DM 級]、風化花崗岩(WGr2)[DH 級]、花崗岩1(Gr1)[CL 級]、花崗岩2(Gr2)[CM 級以上]に4区分した。このうち、支持層として評価できる層は、 $N \geq 30$ の風化花崗岩(WGr2)、花崗岩1(Gr1)、花崗岩2(Gr2)である。

表-1 総合柱状図²⁾

地質年代	地層・岩盤名	略記号	岩級	N値範囲	層厚(m)	層相
第四紀	産物堆積物	T1	—	—	0.9~1.4	・橋台位置の斜面に分布。 ・表土を含み、最上部には草根や木片を少量混入。 ・構成土質：砂質シルト、シルト混じり砂、シルト質砂礫 他。 ・含水量は少ない。
	沖積硬質土層	Ag	—	5~36	0.9~1.4	・橋台計画位置の低地に分布。 ・直径50mm以下の花崗岩質角礫及び粒径不均一な砂からなり、部分的に長さ10cmの玉石コアを採取。 ・含水量は中位。
新第三紀	強風化花崗岩	WGr1	DL~DM	7~29	0.6~1.4	・橋台計画位置の斜面に分布。 ・辛うじて整形コアとして採取されるが、ハンマー軽打で容易に砕け、マサ状コア(砂質土)となる。 ・風化、変質が著しく、風化組織はほとんど認められない。
	風化花崗岩	WGr2	DH	34~115	1.2~2.1	・橋台計画位置の斜面に分布。 ・整形コアとして採取されるが、ハンマー軽打で容易に砕け、礫状~砂状となる。 ・コア表面はざらつき、潜在亀裂が多い。 ・部分的に、黒褐色の変質(酸化)が著しい区間が認められる。
	花崗岩1	Gr1	CL	75~買入不能	1.4~4.9	・橋台計画位置の斜面に分布。 ・短柱状~短柱状コア。 ・コア表面はざらつき、小刀で傷が付く。 ・ハンマー打撃で濁音を発して砕ける。 ・コア内部も風化が進行しており、全体に褐色を帯びる。 ・潜在亀裂が多く、鋭角に入った亀裂も認められる。
	花崗岩2	Gr2	CM以上	買入不能	—	・橋台計画位置の斜面に分布。 ・短柱状~長柱状コア主体。 ・ハンマー打撃でやや濁った金属音または金属音を発する。 ・コアは比較的新鮮で、表面は概ね滑らか。 ・亀裂面の酸化汚染は殆ど認められないが、一部に白色粘土状被膜。 ・亀裂は鉛直~高角度、低角度のものと同様ではない。
	花崗岩2	Gr2	CM以上	買入不能	—	・橋台計画位置の斜面に分布。 ・短柱状~長柱状コア主体。 ・ハンマー打撃でやや濁った金属音または金属音を発する。 ・コアは比較的新鮮で、表面は概ね滑らか。 ・亀裂面の酸化汚染は殆ど認められないが、一部に白色粘土状被膜。 ・亀裂は鉛直~高角度、低角度のものと同様ではない。

※層厚はボーリングコアで確認した厚さを示す。

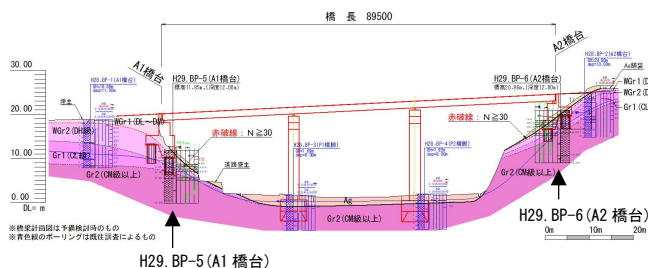


図-1 調査地の想定地質断面図²⁾

3. 調査結果

ボーリングは橋台部において計2箇所を実施した。ボーリングコア写真を写真-1に示す。

当該地のCL級以上の花崗岩(Gr1・Gr2)は、風化・変質の程度は小さく、岩質そのものは比較的硬質であるが、5~50 cm間隔の亀裂(節理)が発達するという特徴を有する。そのため、CL級相当(軟岩)であっても標準貫入試験で貫入不能な区間が多いこと、および三軸圧縮試験に必要な供試体数を確保することが困難であることから、岩盤部の地盤定数を設定するにあたり、必要となる情報を得ることができないという問題があった。

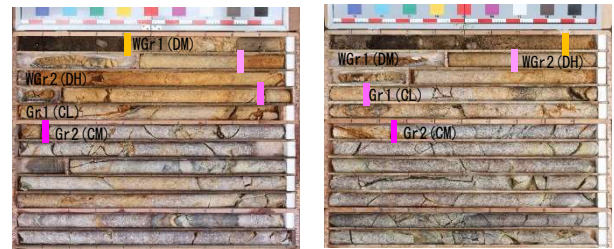


写真-1 ボーリングコア写真

4. 岩盤部における強度定数の設定

以上のことから、花崗岩の強度定数については、無亀裂状態(“岩石試料”)の強度定数を、亀裂係数によって低減させ、亀裂の影響を考慮した“岩盤”としての評価を行う手法を採用した。評価に必要な原位置試験および室内試験の項目は以下のとおりである。

- ・岩盤の一軸圧縮試験
 - ・岩盤の圧裂試験
 - ・超音波速度測定
 - ・速度検層
- 無亀裂状態の強度定数を求める
- 亀裂係数を求める

採用した強度定数の設定方法を以下に示す。

- ① 岩石試験(一軸 q_u ・圧裂 T_u)の結果を利用し、式-1、式-2により無亀裂状態の強度定数(c_0 、 ϕ_0)を得る。

$$c_0 = (1/2) \times (q_u \times T_u)^{0.5} \quad \text{(式-1)}$$

$$\phi_0 = \sin^{-1}\{(q_u - T_u) / (q_u + T_u)\} \quad \text{(式-2)}$$

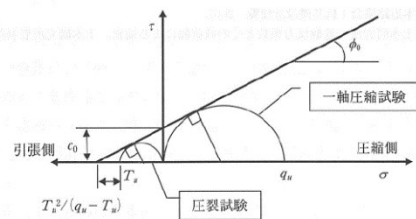


図-2 岩石試験に基づく c_0 、 ϕ_0 の求め方³⁾

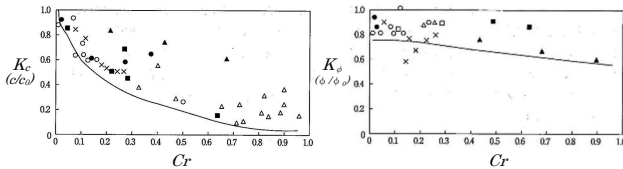
- ② 原位置における速度検層および室内試験による超音波伝播速度試験の結果 (V_p , V_{p0}) を利用し式-3によって亀裂係数 (C_r) を求める。

$$C_r = 1 - (V_p / V_{p0})^2 \quad (\text{式-3})$$

V_p : 地山の P 波速度(m/sec)

V_{p0} : 供試体の超音波伝播速度(m/sec)

- ③ 図-3を参照し低減係数(K_c , K_ϕ)を求め、無亀裂状態の強度定数を式-4、式-5によって低減し、亀裂の影響を考慮した強度定数を算出する。



(旧日本道路公団試験所及び鉄道技術研究所で実施された試験結果)

図-3 K_c - C_r ・ K_ϕ - C_r の関係³⁾

$$c = K_c \times C_0 \quad (\text{式-4})$$

$$\phi = K_\phi \times \phi_0 \quad (\text{式-5})$$

岩盤部における強度定数の算出結果を表-2 に示す。

表-2 強度定数算出結果

岩種(岩級)区分	(単位)	WGr2(DH)	Gr1(CL)	Gr2(CM以上)
圧縮強度	σ_c (MN/m ²)	0.282	3.56	20.4
圧裂引張強度	σ_t (MN/m ²)	0.107	0.439	1.50
無亀裂状態における粘着力	C_0 (kN/m ²)	86.8	625.0	2765.8
無亀裂状態におけるせん断抵抗角	ϕ_0 (°)	26.7	51.3	59.6
地山の P 波速度	V_p (m/sec)	720	1130	2060
供試体の超音波速度	V_{p0} (m/sec)	760	1840	3020
亀裂係数	C_r	0.10	0.62	0.53
粘着力の低減係数	K_c	0.59	0.11	0.17
せん断抵抗角の低減係数	K_ϕ	0.75	0.63	0.64
岩盤の粘着力	c (kN/m ²)	51	68	470
岩盤のせん断抵抗角	ϕ (°)	20	32	38

5. 考察

表-2に示した岩級区分別の亀裂係数を見ると、WGr2(DH)では $C_r=0.1$ と岩石試料と地山(岩盤)の P 波速度の差が小さいのに対して、Gr1(CL)、Gr2(CM)は、 $C_r=0.62$ 、 0.53 と WGr2(DH)と比較して大きく、亀裂係数が強度定数低減に与える影響が大きい。これは、コア鑑定で確認できるように、WGr2(DH)は風化・変質により割れ目が不明瞭になっている部分であり、岩石試料単体と岩盤(地山)単位の性状の差が小さいことを反映しているものと考えられる。一方で、Gr1(CL)、Gr2(CM)については、岩石試料そのものは比較的硬質(緻密)であるのに対して、岩盤単位で見ると開口を伴う亀裂(節理)が発達していることから、その影響で P 波が減衰していることを表しているものと考えられる。

また、設定した岩盤部の強度定数と、 N 値からの推定式(式-6、式-7)および岩級区分別の測定例(表-3 参考値)により設定した場合とを比較し表-4に整理した。

・ N 値推定式[砂岩・れき岩・深成岩]¹⁾

$$c = 15.2 \times (N\text{値})^{0.327} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (\text{式-6})$$

$$\phi = 5.10 \log(N\text{値}) + 29.3 \quad (^\circ) \quad (\text{式-7})$$

表-3 強度定数の測定例¹⁾

岩級	岩種	粘板岩(ダムサイトの例)				花崗岩(本四連絡橋基礎の例)			
		c (kN/m ²)		ϕ (°)		c (kN/m ²)		ϕ (°)	
		範囲	平均	範囲	平均	範囲	代表値	範囲	代表値
硬岩	B	2,250~2,750	2,500	40~50	45	1,500~2,500	1,500	45	
	C ₁	1,750~2,250	2,000	35~45	40	1,000~2,000	1,000	40	
	C ₂	750~1,750	1,250	35~45	40	500~1,000	500	40	
軟岩	C ₃	250~750	500	30~40	35	100~1,000	100	37	
	D	100以下	0	20~30	25	0~500	0	30~35	

表-4 設定値と N 値からの推定値・参考値との比較

地盤定数項目		(単位)	岩種(岩級)区分		
代表 N 値		-	WGr2(DH)	Gr1(CL)	Gr2(CM以上)
強度定数	無亀裂状態粘着力	c_0 (kN/m ²)	86.8	625.0	2765.8
	無亀裂状態せん断抵抗角	ϕ_0 (°)	26.7	51.3	59.6
	岩盤の粘着力	c (kN/m ²)	51	68	470
	岩盤のせん断抵抗角	ϕ (°)	20	32	38
	粘着力 NEXCO 推定式(深成岩)	c (kN/m ²)	63.7	72.1	-
	せん断抵抗角 NEXCO 推定式(深成岩)	ϕ (°)	39.0	39.8	-
	粘着力 岩級区分別の参考値	c (kN/m ²)	0	100	500
	せん断抵抗角 岩級区分別の参考値	ϕ (°)	30~35	37	40
	参考値				

N 値からの推定式より算出した結果と比較し、設定した WGr2(DH)、Gr1(CL)の強度定数は c 、 ϕ ともに低い値であった。さらに、Gr1(CL)、Gr2(CM)については、岩級区分別の測定例と比較してもやや低い値であった。

このように N 値からの推定式や岩級区分別の測定例を代表値として設定していた場合は、設計上危険側の設定になっていたものと考えられる。

一般に岩級区分については目的に応じた分類基準に従うが、技術者の経験則によって、評価に個人差が生じることもあるので、岩級から強度定数を推定する際は、十分な注意が必要と言える。

6. おわりに

今回の調査のように、地質の性状を考慮し、原位置試験や土質試験結果を利用して調査地固有の地盤定数を設定したことは、現地条件と乖離しない設計に寄与したものと考えられる。予算的な面から測定例等の利用頻度は少ないが、岩級区分別の測定例については「参考値として取り扱うことが前提」と記載¹⁾されていること、および N 値からの推定式により求まる値は「特定の条件下におけるバラつきが大きい中での平均的な値」と記載³⁾されていることに留意しなければならない。

《引用・参考文献》

- 1) 東日本高速道路(株)、中日本高速道路(株)、西日本高速道路(株):設計要領第二集橋梁建設編,pp4-7~4-12,2016.8
- 2) 鳥取県鳥取県土整備事務所:平成29年度 県道網代港岩美停車場線(田後工区)改良工事「地質調査業務委託」(交付金改良)
- 3) (社)日本道路協会:斜面上の深礎基礎設計施工便覧,pp60~64,2012.4