

花崗岩の破砕帯における地質調査事例

株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング東北支社 ○河井 寛, 倉田 力, 石岡征記

1. はじめに

断層によって形成された急峻な斜面上に位置する橋梁基礎の設計において、斜面の安定や支持力の検討に必要な地盤の強度定数を推定することが求められた。

橋梁の基礎地盤は花崗岩が分布し、断層による破砕を受けて割れ目が発達している。割れ目の多い岩盤では、岩石の強度と地山全体の強度の差をどのように評価して地山の強度を推定するのが課題となることが多い。

一般的には、地山の弾性波速度 v とコアの超音波伝播速度 V の比を『割れ目指数 k 』と呼び、式-1で表し、

$$k = v/V \quad \dots \text{式-1}$$

k を用いた地山の強度を推定する方法が知られている。

当該地は急峻な斜面を形成し、割れ目の発達した露岩状態となっていること、下流部には人家もあることから弾性波探査の実施は困難な状況であった。そこで、弾性波速度ではなく、弾性係数を利用した割れ目指数の推定と、ボーリングコアでの一軸圧縮試験と圧裂引張試験の組み合わせから地山の強度定数を推定した。この方法と結果をここに紹介する。

2. 地山の割れ目の状況

調査地の花崗岩の割れ目の発達状況をCL級とCM級の代表例を次の写真-1に示した。割れ目は開口し、まさや流入粘土などの充填物は殆ど見られない。通常時は地下水の流れも認められない。

岩石は硬いが地山に割れ目が多く、岩石と地山の物性の差異の評価が課題であった。この差異を「割れ目指数」の概念を用いて検討した。



写真-1 花崗岩(地山)の割れ目の状況

3. 地山の強度定数の推定方法

(1) 割れ目指数について

一般的には地山の弾性波探査と岩石試験を組合せた試験方法の採用が多い。

岩盤内を伝播する縦波の弾性波速度は次の理論式¹⁾によって与えられる。

$$v = \sqrt{\frac{1-\nu}{(1-\nu)(1-2\nu)}} \cdot \frac{E}{\rho} \quad \dots \text{式-2}$$

式-2において、

v ：地山（岩盤）の弾性波速度

ρ ：地山（岩盤）の密度

ν ：地山（岩盤）のポアソン比

E ：地山（岩盤）の弾性係数

ここで、割れ目岩盤の弾性係数および弾性波速度を E_c 、 v 、割れ目のない岩石実質部の弾性係数および弾性波速度を E_s 、 V とし、 ρ 、 ν を割れ目の有無にかかわらず一定であるとする、式-2より、

$$E_c = E_s \left(\frac{v}{V} \right)^2 = E_s \cdot k^2 \quad \dots \text{式-3}$$

$$k^2 = E_c/E_s \quad \dots \text{式-4}$$

となり、割れ目のある岩盤の弾性係数は岩石試料（割れ目がない）の弾性係数に割れ目指数の二乗を乗じたものに等しくなる。岩盤の ρ 、 ν が割れ目の有無にかかわらず一定であると仮定すると、割れ目のある岩盤の強度は岩石試料の強度に k^2 を乗ずることによって得られることになり、式-5で表される。

$$S_f = S_s \cdot k^2 \quad \dots \text{式-5}$$

S_s ：新鮮な割れ目のない岩石試験片の強度：岩石試験結果で得られた強度

S_f ：割れ目岩盤の強度：上記強度に割れ目指数の二乗を乗じた値

地山（岩盤）の弾性波速度を得られないため、割れ目指数を式-6で求めることとした。

$$k = \sqrt{k^2} = \sqrt{E_c/E_s} \quad \dots \text{式-6}$$

E_c ：割れ目岩盤の弾性係数：孔内水平載荷試験から求めるもので、図-1に示す「割れ目の開口した岩盤の弾性係数」に当たる

E_s ：割れ目のない岩石実質部の弾性係数：岩石の一軸圧縮試験から求める E_{s0} の値

(2) 孔内水平載荷試験による弾性係数の推定について

図-1には、孔内水平載荷試験で得られる応力変位曲線の例²⁾を示した。割れ目の多い岩盤を対象に孔内水平載荷試験を行った場合、載荷圧力の大きさによって割れ目の影響を受け、次の様な現象があると考えられる。

① 載荷初期の段階では圧力が小さい事で、割れ目が開口した状態での応力-変位状態を示す

② 載荷圧力が大きくなり割れ目が閉塞し始め、応力-変位状態に割れ目の閉塞効果が表れる

③ 割れ目がほぼ閉塞すると、応力-変位状態は割れ目の無い岩盤の挙動を示す

図-1に示す(C)の曲線では、試験の初期段階で開口した割れ目の影響を受けた弾性係数が測定され、その後割れ目が密着した状態の弾性係数が測定されたと考えたものである。

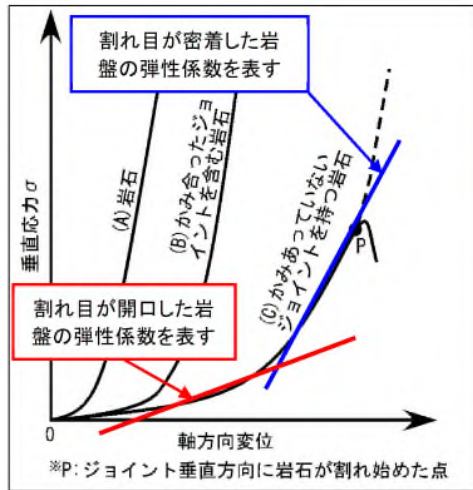


図-1 花崗閃緑岩試験体の引張り割れ目の垂直圧縮²⁾
(参考文献 2)に説明文を加筆)

(3) 岩石試験の方法

岩石試験は一軸圧縮試験と圧裂引張試験を行い、モール円に接するせん断強度を推定する方法を採用した。圧裂引張試験は、岩石力学入門（第3版）³⁾に基づいた。

引張力の3倍の圧縮応力が働いていると仮定する方法で描いたモール円と一軸圧縮強度のモール円の接線を最小二乗法によって破壊基準線として求めた。

(4) 地山の強度定数の推定手順

割れ目の開口している状態の弾性係数とボーリングで得られた岩石コアの一軸圧縮試験で得られた弾性係数で割れ目指数を求めて地山の強度を推定する。この流れを図-2に示した。

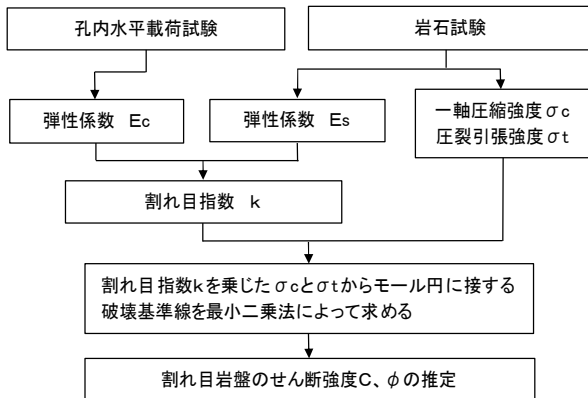


図-2 地山の強度定数を求める試験と方法の流れ

4. 調査、試験の結果

(1) ボーリングコアチェックの結果

橋梁の基礎でボーリングを行った結果は、写真-1に示したようなCL級とCM級の花崗岩を確認した。

割れ目は開口し、まさなどの充填物は無く、岩石自体は硬質で、割れ目の褐色風化は殆ど認められなかった。

このようなコアチェックの結果から、岩石自体の強度に割れ目の存在を付加する事で地山の持つ強度を推定できるものと判断できた。

(2) 孔内水平試験の結果

孔内水平載荷試験の結果を表-1に示した。

表-1 孔内水平載荷試験結果

弾性係数(kN/m ²)	B1-1 CL	B2-1 CL	B2-2 CL	B1-2 CM
割れ目閉合途中	7 924	13 037	20 670	246 031
割れ目閉合後	80 337	91 101	203 054	1 837 251

(3) 岩石試験の結果

岩石試験の結果に割れ目指数の二乗を乗じた値で整理したモール円と破壊基準線を図-3に示した。

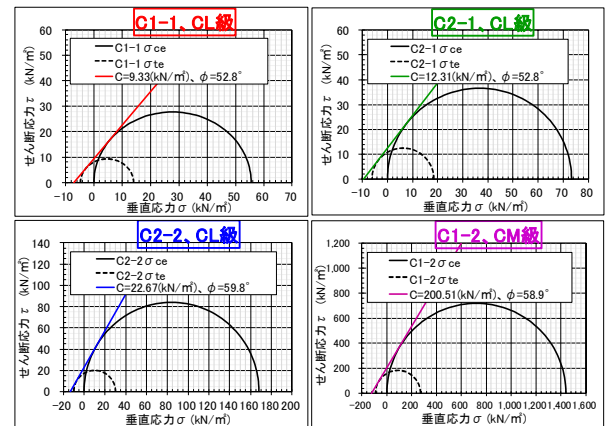


図-3 岩石試験結果と破壊基準線

(4) 地山の強度定数の推定結果

地山の強度定数の推定結果を表-2にまとめた。

表-2 試験結果と地山のせん断強度の推定結果

No.、岩級	弾性係数 (kN/m ²)		割れ目指数k	岩石試験結果 (kN/m ²)	
	孔内水平載荷試験のEc	岩石試験のEs		一軸圧縮強度σc	圧裂引張強度σt
B1-1 CL	7 924	2 470 000	0.057	17 300	1 460
B2-1 CL	13 037	3 330 000	0.063	18 700	1 580
B2-2 CL	20 670	1 760 000	0.108	14 300	855
B1-2 CM	246 031	11 000 000	0.150	64 400	4 050
No.、岩級	割れ目を考慮した強度 (kN/m ²)			せん断強度	
	割れ目指数の二乗k ²	一軸圧縮強度σce	圧裂引張強度σte	粘着力C (kN/m ²)	せん断抵抗角φ(°)
B1-1 CL	0.0032	55.50	4.68	9.33	52.80
B2-1 CL	0.0039	73.21	6.18	12.31	52.80
B2-2 CL	0.0117	167.94	10.04	22.67	59.80
B1-2 CM	0.0224	1440.40	90.58	200.51	58.90

5. まとめ

割れ目の発達する花崗岩からなる地山のせん断強度を推定する方法として、孔内水平載荷試験と岩石試験を組み合わせる方法を試みた。地質や地山の割れ目の性状によってはこの方法の妥当性や別の手法の検討も必要になるものと考えられるが、一つの参考になれば幸いである。

《引用・参考文献》

- 池田和彦（1979）：割れ目岩盤の性状および強度，応用地質 20 巻 4 号，pp. 20-32
- 小早川博亮（電力中央研究所）・京谷孝史（東北大学）（2007）：亀裂に対する連続体弱層モデルを用いた均質化法による岩盤の強度特性評価，土木学会論文集 C Vo1. 63 No. 2，pp. 428-440
- 東京大学出版会（1991）：岩石力学入門（第3版），pp. 136-137