

Ⅲ-A 407

場所打ちコンクリート杭の岩盤先端支持力評価法

北海道開発局 開発土木研究所 正会員 ○ 富澤 幸一
同 上 正会員 西川 純一

1. はじめに

近年全回転オールケーシング工法による硬質岩盤施工が可能となってきたことから、岩盤を支持層とする場所打ちコンクリート杭（以下 CCP）の採用が増加する傾向にある。しかしながら、CCP 岩盤先端支持力 q_d 値は道路橋示方書¹⁾（以下 道示）に明記されていないことから、各機関独自の運用を実施している実態にある。本報では、鉛直載荷試験の基礎資料を検討し、特に支持岩盤の強度特性の関係に注目することにより、支持力理論の検証に基づく現場に即応した CCP 岩盤先端支持力度の評価法について報告する。

2. 載荷試験結果の検討

表-1 先端地盤強度

現場名	地質	N 値	q_u (kgf/cm ²)	E (kgf/cm ²)	P_y (kgf/cm ²)
A	砂岩	50以上	11.8	—	—
B	砂岩	50以上	17.0	3330	55.2
C	安山岩	50以上	873	2180	53.9
D	砂岩	50以上	188	—	—

岩盤を支持層とする CCP の鉛直載荷試験は、北海道開発局内において平成 8～10 年の 3 カ年で、4 箇所（A・B・C・D 現場）で実施されている。表-1 に、代表的地質調査結果からの杭先端岩盤強度特性を示す。

各現場とも CCP 硬質岩盤用オールケーシング工法を採用しており、N 値 50 以上の支持岩盤へ 1D 以上の根入れを行っている。各現場の載荷試験の結果得られた実測極限先端支持力度 q_d 値と設計極限先端支持力度 q_d' 値を比較し図-1 に示す。実測 q_d 値は岩種に関係なく全てのケースで、道示において載荷試験を実施し確認されればその設定が可能とする $q_d=500\text{tf/m}^2$ を上回る値を示している。支持基岩の一軸圧縮強度 q_u と実測 q_d 値との相関では、道示に示された硬質粘性土層の q_d 算定式 $3q_u$ と A・B 現場で一致する傾向がみられた。また、孔内水平載荷試験を実施している B・C 現場では、実測 q_d は値極限破壊圧 $P=1.5P_y$ (p_y : 降伏圧力) にほぼ一致する傾向も認められた。

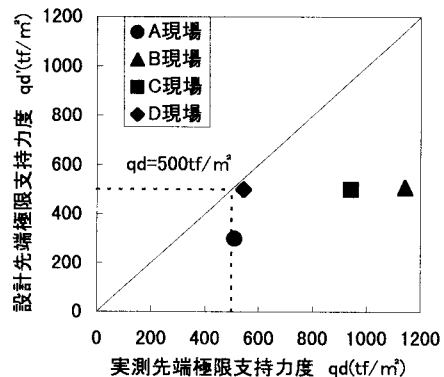


図-1 先端極限支持力度 q_d

3. 支持力理論

支持力理論に基づき、岩盤を支持層とする CCP 先端支持力度 q_d 値について検証する。

(1) Prandtl系支持力理論

Prandtl 系支持力理論は、2次元の剛塑性体表面に剛棒を押込む時の抵抗を塑性論に基づいて解析したものである。地盤定数を入力し、Terzaghi 式²⁾により極限杭先端支持力度を試算する。この際、岩盤の地盤定数については北海道開発局内で運用している岩盤の c 、 ϕ の評価手法（表-2）による。

区分 VI・VII・VI'・VII' の試算結果では、杭径 1m を支持層に 1D 根入れしたと仮定した場合 $q_d \approx 70 \sim 370\text{tf/m}^2$ と過小の値を示した。これは Terzaghi 式では地盤粘着力 c の占める要因が大きいためであり、岩の一軸圧縮強度 q_u が大きく RQD 値が 80 % の境界となる区分 V 以上では $q_d \geq 1000\text{tf/m}^2$ の結果を示している。また、試算として載荷試験結果から $q_d=3q_u$ と仮定し q_d 値の下限を 500tf/m^2 として、Terzaghi 式により地盤定数を設定して算定した結果 $q_d=650\text{tf/m}^2$ 程度の結果が得られた。

キーワード：場所打ちコンクリート杭、先端支持力、岩盤、支持力理論

連絡先：☎ 062-8602 北海道札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 TEL(011)841-1111 FAX(011)841-7333

表-2 岩盤評価区分

I	—	$qu \geq 600(\text{kg/cm}^2)$	II	—	$600 > qu \geq 100$ — $RQD \geq 80\%$
III	—	$RQD < 80\% - D \geq 50\text{cm}, K \geq 2$	IV	—	$D < 50\text{cm}, K < 2$
V	—	$100 > qu \geq 50$	VI・VI'	—	$50 > qu$ — $RQD \geq 50\%$
VI・VI'	—	$RQD < 50\% - D \geq 30\text{cm}, K = 3$	VII・VII'	—	$D < 30\text{cm}, K < 2$

D: 割れ目区分 (cm)

K: 割れ目状態 (程度により 3 区分)

強度 区分名	強度定数	
	$c(\text{t/m}^2)$	ϕ
I	200	50
II	150	45
III	100	40
IV	50	40
V	10	37
VI	0	35
VII	0	30
VI'	3.0	35
VII'	1.5	30

(2) 球空洞押上げ理論

球空洞押上げ理論は、半無限体中に球空洞を想定し、この空洞に内圧を加えた際の極限内圧が杭先端地盤の極限支持力度に等しいと仮定する支持力理論である。山口の式³⁾により、支持岩盤 N 値 = 50 として支持層への根入れは前検討同様に杭径 1m を 1D と想定すれば、 $qd \approx 900\text{tf/m}^2$ の結果が得られる。これは、4 件の載荷試験結果に対し若干大きめの値となったが、詳細には粘着力 c および土の自重等を考慮する必要がある。

(3) Prandtl系支持力理論と球空洞押上げ理論の組合せ理論

この理論は、パンチングせん断破壊に対する支持力式として、くさび領域・放射せん断領域・塑性領域を形成させたすべり線場を仮定した Prandtl 系理論と球空洞押上げ理論を組み合わせた支持力理論である。岩盤強度区分に従い岸田・高野の式⁴⁾で qd を算定すれば、粘着力 c を無視あるいは過小な区分 VI・VII・VI'・VII' では $qd \leq 200\text{tf/m}^2$ と小さな値を示したが、区分 V 以上では $qd \geq 950\text{tf/m}^2$ の値を示した。また、Terzaghi 式と同様に $3qu = 500\text{tf/m}^2$ と仮定し地盤定数を設定して、岸田・高野の式から qd 値を算定すれば $qd = 700\text{tf/m}^2$ の結果が得られている。

4. まとめ

岩盤を支持層とする CCP の先端支持力度評価法として、鉛直載荷試験結果の考察および一連の支持力理論による検証結果より、下記の土質試験の実施を義務付け、3 条件を満たしている場合 $qd = 500\text{tf/m}^2$ を基本設定値とすることを提案したい。

- ① 北海道開発局内で実施された岩盤を支持層とする CCP 鉛直載荷試験結果より、 qd 値は岩種に関係なく、阪神高速道路公団⁹⁾等が提案している 500tf/m^2 を確保している。また、岩の一軸圧縮強度 qu との関係では、道示・日本道路公団要領⁹⁾等で硬質粘性土および軟岩を支持層とする場合として示された $qd = 3qu$ にほぼ相関する結果が認められていることから、 $3qu \geq 500\text{tf/m}^2$ を設定条件とする。
- ② 孔内水平載荷試験は、原位置で地盤変形特性・地耐力を直接的に測定できる信頼性の高い試験の一つである。載荷試験結果との相関から、極限破壊圧力 $P = 1.5P_y$ (P_y : 降伏圧力) が 500tf/m^2 以上確保されていれば同等の地耐力として設計杭先端支持力度 $qd = 500\text{tf/m}^2$ の設定が可能とする。
- ③ 採取試料の岩盤評価については、肉眼観察による評価が岩石試験の評価より低ランクとされる傾向にあるが、岩の支持力は亀裂の有無により大きく左右される。そのため、岩盤の力学特性以外の健全度を表す端的な指標である RQD 値が支持力理論より 80 % 以上確保されていれば、 $qd = 500\text{tf/m}^2$ の設計設定値が可能とする。

5. おわりに

本報での提案は、北海道内の表層岩盤における載荷試験結果を支持力理論により検証した検討結果によるものである。今後は上限値の設定等が課題であり、多くのモデル試験や現場試験を実施し、提案値の妥当性を含め検証していくことが重要と考える。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編、1998.12
- 2) Terzaghi：Theoretical Soil Mechanics、John Wiley & Sons、Inc.、pp130 ~ 133、1943
- 3) 山口：無限土中における空洞押上げの弾塑性解析の応用 東京工業大学土木工学科研究報告、No.15、1973
- 4) 岸田・高野：砂地盤中の Non-displacement Pile 先端部地盤の破壊機構 日本建築学会論文報告集、第 285 号、1979.11
- 5) 阪神高速道路公団：設計基準 第 2 部 構造物設計基準、1990.6
- 6) 日本道路公団：設計要領 第二集（橋梁・擁壁・カルバート）、1997.11