

平板載荷試験結果を反映した断層破碎帯での深礎杭の検討

岡野 昭博*
Akihiro Okano

1. はじめに

当初設計段階より支持力確保が課題となっていた断層破碎帯に根入れする深礎杭について、平板載荷試験結果を反映させ、杭長を延伸する設計の見直しを行った。本報告では、施工中における深礎杭および下部工の修正設計について概要を報告する。

2. 工事概要および地質概要

(1) 工事概要

工 事 名：新名神高速道路猪名川東工事
 発 注 者：西日本高速道路(株)関西支社
 工事場所：兵庫県川辺郡猪名川町上野～猪瀨
 工事内容：土工（切土）：230,000 m³
 土工（盛土）：607,700 m³
 トンネル（NATM）：193 m
 橋梁下部工，基礎杭等

(2) 地質概要

本報告の対象は、PC・PRC8 径間連続 2 主版けた橋の 3 橋脚（P2～P4 橋脚）で計画された深礎杭（φ 3.0 m）6 本である。当該基礎に分布する断層破碎帯（以降、破碎帯と略す）は、図-1 に示すように DM～CL 級の頁岩と砂岩で構成されている。

既往調査では、土層の連続性を確認するため、1 橋脚に複数のボーリングが実施されている。既往調査結果から、深礎杭の根入れ地盤は N 値が 50 以上あるものの粘

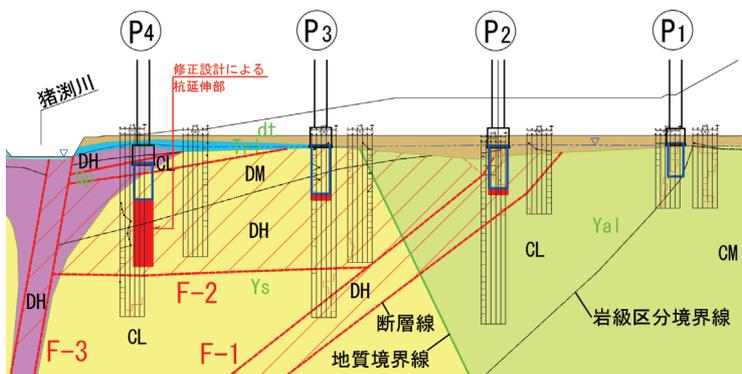


図-1 地質縦断面図

土化した破碎帯の存在が確認されていた。

当初設計の土質定数は、破碎帯以外の一般部で N 値に基づく既往換算式により設定されている。また、破碎帯の土質定数は、破碎帯の N 値を再評価し、一般部の土質定数を低減する方法で設定されていた。

なお、当該区間の地層構成は、新第三紀の大阪層群であり、洪積れき質土、洪積粘性土が複雑に互層を成している。れき質土の N 値は 50 以上、粘性土の N 値は 20 以上である。

3. 平板載荷試験と土質定数の設定

(1) 試験方法の選定

杭長の修正検討においては、根入れ深さを考慮した極限支持力 q_d を式 (1) により算定する。極限支持力の算定に際しては、支持層となる破碎帯の粘着力 C と内部摩擦角 ϕ を先に設定する必要がある。破碎帯に対する地盤調査を計画する必要がある。

$$q_d = \alpha CN_c + \beta \gamma_1 BN_\gamma + \gamma_2 D_r N_q \dots\dots\dots (1)$$

根入れ深さの効果

地盤調査には種々の方法が想定される。破碎帯のコア採取では試料の乱れの影響や三軸圧縮試験用の試料成形が困難と考えられたことから、原位置での平板載荷試験により土質定数を設定する方針を発注者に提案し、採用された。平板載荷試験は根入れ深さの効果が考慮されないことから、直径の異なる 2 種類の載荷板を用い、2 種類の平板載荷試験から破碎帯の粘着力 C と内部摩擦角 ϕ を算定することとした。

(2) 2 種類の平板載荷試験

載荷板は直径 φ 125 mm, φ 175 mm を使用し、反力架台は H 型鋼（山留材）を使用した（写真-1）。



写真-1 反力架台組立状況

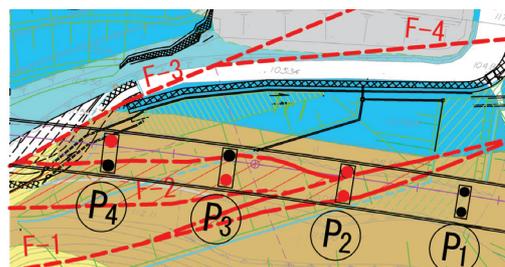


図-2 深礎杭平面位置図

* 西日本(支)猪名川東(出)

平板載荷試験結果の一例を表-1に示す。P2橋脚での試験結果では、支持力不足と判断され、杭長の見直しが必要となった。なお、破砕帯は出水の影響を受けやすいことから、深礎杭底面では排水勾配を確保し、釜場による排水を行い、平板載荷試験を迅速に行うことが重要である。

表-1 平板載荷試験結果の例 (P2橋脚)

	P2橋脚谷側	P2橋脚山側
極限支持力 (kN/m ²)	1650 【1650】	1620 【2200】
許容支持力 (kN/m ²)	常時 550 【550】 地震時 825 【825】	常時 540 【733】 地震時 810 【1100】
設計地盤反力度 (kN/m ²)	常時 2190 地震時 3286	常時 1795 地震時 2346
判定	支持力不足	支持力不足

【 】外はφ 125 mm, 【 】内はφ 175 mmの試験結果

(3) 内部摩擦角φの算定

(1) 式より、径が異なる2種類の載荷板について、それぞれの径に応じるパラメータをi, jの添え字で表し、式(1)に形状係数α = 1.3, β = 0.6を適用すれば、支持力係数N_γは以下のように求まる。

$$N_{\gamma(i \sim j)} = \frac{q_{dj} - q_{di}}{0.3\gamma(B_j - B_i)} \dots\dots\dots (2)$$

(2) 式にP2橋脚山側の試験値を適用した結果、N_γの上限値であるN_γ = 85となり、内部摩擦角φ = 40°を得る。

$$N_{\gamma} = \frac{2200 - 1620}{0.3 \times 10 \times (0.175 - 0.125)} = 3,866 > 85 \rightarrow \phi = 40^{\circ}$$

(4) 粘着力Cの算定

内部摩擦角φ = 40°で、支持力係数算定グラフからN_c = 75が得られる。地盤の単位体積重量γ₁ = 10 kN/m³(地下水位以下)とし、平板載荷試験結果の極限支持力と(1)式の根入れ効果を無視した支持力公式より、粘着力Cを算定した。P2橋脚およびP3橋脚での算定結果を表-2に示す。

表-2 極限支持力と粘着力Cの算定例

対象杭	P2橋脚 山側		P3橋脚 山側	
極限支持力度 q _d (kN/m ²)	1620	2200	1450	3150
載荷板サイズ B(m)	0.125	0.175	0.125	0.175
粘着力 C (kN/m ²)	16.3	22.1	14.5	31.8

4. 平板載荷試験結果を反映した修正設計

(1) 支持力算定と杭長の延伸

平板載荷試験結果より、DH級以上の岩盤において土

質定数は内部摩擦角φ = 40°、粘着力C = 20 kN/m²程度で評価できることが確認されたものの、修正設計で用いる土質定数は安全側に粘着力をC = 0 kN/m²とした。

土質定数φ = 40°、C = 0 kN/m²として根入れ深さの効果を考慮し、P2～P4橋脚の支持力を見直した結果、破砕帯に根入れする杭6本のうち、2本については当初設計の杭長で問題なく、3本については杭長を1m伸ばすことで支持力が確保される結果となった。上記5本の杭はDH級の岩盤に支持することで杭長の変更量は軽微で済む結果となった。

残り1本の杭についてはDM級の岩盤が厚く分布しており、DM級での平板載荷試験から設定される土質定数はφ = 25°、C = 16 kN/m²の試験結果となった。DM級の内部摩擦角はDH級の内部摩擦角の62.5%で小さい。この杭はDM級の岩盤内で杭長を延伸しても支持力が確保できないことが判明したため、修正設計では杭長を11m伸ばし、DH級の岩盤に支持させる方針とした。

修正設計により決定した各橋脚での杭長の変更を表-3に示す。

表-3 杭長の変更 (修正設計結果)

対象杭	谷側		山側	
	当初設計	修正設計	当初設計	修正設計
P2橋脚	8 m	9 m (+1 m)	8 m	9 m (+1 m)
P3橋脚	8 m	8 m	8 m	9 m (+1 m)
P4橋脚	6 m	17 m (+11 m)	6 m	6 m

()内は杭長延伸量、杭径はいずれもφ 3.0 m

(2) 基礎バネを再評価した橋梁全体の動的解析

P2～P4橋脚での杭長および土質定数の変更に伴い、橋梁全体系の動的解析に用いる基礎バネを修正する必要が生じる。橋梁全体系の動的解析の結果、杭長を11m延伸したP4橋脚で相対的に上部工反力が集中する結果となり、P4橋脚の柱主鉄筋の補強が必要となった。

5. おわりに

支持力不足が懸念される深礎杭に対し、平板載荷試験結果を反映させ、根入れ深さの効果を考慮し深礎杭の支持力算定を行った。

平板載荷試験の実施、杭長の変更、橋脚鉄筋の変更、動的解析による照査といった修正設計を行うことで、当初工程よりも約半年間、下部工工事の着手が遅れる結果となった。他の下部工工事を先行着手することにより、工事全体で工期遅延は生じず、無事施工を完了している。

本工事では、発注者である西日本高速道路(株)関西支社新名神兵庫事務所、橋梁設計者である(株)オリエンタルコンサルタンツの関係者に種々ご指導いただいた。深く感謝し、お礼申し上げます。