

岩盤の地盤抵抗が深礎基礎の設計に与える影響

西日本高速道路株式会社 正会員 大城 壮司
 西日本高速道路株式会社 橋 豊
 西日本高速道路株式会社 フェロー 前田 良刀
 株式会社日本構造橋梁研究所 正会員 ○奥谷 淳平

1. はじめに

斜面上に設置される深礎基礎は、大半が山岳部に設置されるため、支持地盤が岩盤であることが多い。よって、岩盤の地盤抵抗は深礎基礎の構造規模を決定する重要な要素となっている。NEXCO 西日本では、岩盤の地盤特性において十分に明らかにされていなかった、「最大せん断強度」と「塑性化後のせん断強度」の関係を検討し、基礎の設計の入力定数としての地盤の受働抵抗特性と杭周面のせん断抵抗特性を適切に評価することとした。本報文は、岩盤の塑性化前後における地盤抵抗の評価が深礎基礎の設計結果に与える影響について報告するものである。

2. 深礎基礎の設計基準

岩盤の破壊は土砂の破壊と異なり、ピーク強度に達すると脆性的な破壊となるため、岩盤の塑性化後の地盤抵抗は塑性化前に比べて著しく低い値を示す。旧設計基準では、塑性化前後の地盤抵抗について十分に説明されていなかったため、設計上安全側となるようにせん断定数が定められていた(表-1, 2, 3)。新設計基準では、岩盤本来の強度を適切に評価するために、塑性化後の残留強度を土質試験により確認することで従来よりも高い値を採用することを可能としている。特に、杭周面のせん断抵抗については、岩盤でありながら土砂と同様の算出式により設定されていたため本来の値に比べて小さな値となっており、その値には上限値が設定されていた。新基準では、岩盤の項目を新たに設け、塑性化前後の地盤抵抗を考慮することとしている。これは、岩盤では塑性化後に軟化する地盤の抵抗を合理的に評価することにより、土砂などの従来のバイリニア的抵抗の上限値と同じ性格を有することになる。表-4 にせん断抵抗の算出例を示す。

3. 検討ケースおよび検討方法

(1) 検討ケース

上述した改訂内容の影響を分析・考察するために、以下の4ケースについて検討を行った(表-5 参照)。

- ・ケース1：塑性化後のせん断定数、杭周面のせん断抵抗とともに旧基準としたケース
- ・ケース2：塑性化後のせん断定数のみを新基準としたケース
- ・ケース3：杭周面のせん断地盤抵抗のみを新基準としたケース
- ・ケース4：塑性化後のせん断定数、杭周面のせん断抵抗ともに新基準としたケース

(2) 検討方法

検討に用いた地盤モデルを図-1 に示す。岩盤の地盤抵抗の影響が顕著に表れる地盤モデルとして、比較的浅い位置に CM 級の中硬岩が分布するモ

キーワード：深礎基礎，設計基準，岩盤の塑性化後の地盤抵抗

連絡先 〒540-0026 大阪市中央区本町 1-3-6 (株)日本構造橋梁研究所 TEL06-6920-8811

表-1 塑性化後のせん断定数

		旧基準	新基準
土砂・軟岩 (CL)	粘着力 c_s (kN/m ²)	$c_s = c$	同左
	せん断抵抗角 ϕ_B (°)	$\phi_B = \phi$ ($\phi = \phi_{30^\circ}$)	$\phi_B = \phi$
中硬岩 (CM)	粘着力 c_s (kN/m ²)	$c_s = 0$	0 c_s 1/3c
	せん断抵抗角 ϕ_B (°)	$\phi_B = 2/3 \phi$ ($\phi = \phi_{30^\circ}$)	$\phi_B = 2/3 \phi$ ($\phi = \phi$)

表-2 杭周面のせん断地盤反力 (kN/m²)

旧基準	新基準
砂質土および岩盤	岩盤
min[5N, (c + P ₀ tan φ)]	200
	塑性化前 $c + P_0 \tan \phi$ 塑性化後 $c_0 + P_0 \tan \phi_B$

表-3 せん断定数算出例

岩級区分		粘着力 C, C ₀ (kN/m ²)			せん断抵抗角 φ, φ _B (°)		
		塑性化前		塑性化後		塑性化前	
		基本値	従来基準	新基準	基本値	従来基準	新基準
CL	軟岩	300	300	300	35	30	35
CM	中硬岩	1200	0	400	39	20	26

上表の値は例としてあげているものであり、築地地の地質により異なる値である。

表-4 杭周面のせん断地盤反力度算 (kN/m²)

岩級区分	旧基準	新基準
	砂質土および岩盤	岩盤
土砂・軟岩 (CL)	200	塑性化前 300 塑性化後 100
中硬岩 (CM)	200	塑性化前 1200 塑性化後 400

表-5 検討ケース (°), (kN/m²)

	着目する項目	採用基準	土砂・軟岩(CL級)	中硬岩(CM級以上)
ケース1 (基本ケース)	塑性化後のせん断定数	旧基準	$c_s = c$	$c_s = 0$
	せん断抵抗角		$\phi_B = \phi$ ($\phi = \phi_{30^\circ}$)	$\phi_B = 2/3 \phi$ ($\phi = \phi_{30^\circ}$)
	杭周面のせん断地盤反力度		上限値有	上限値有
ケース2	粘着力	新基準	$c_s = c$	$c_s = 1/3 c$
	せん断抵抗角		$\phi_B = \phi$	$\phi_B = 2/3 \phi$ ($\phi = \phi$)
	杭周面のせん断地盤反力度		旧基準	上限値有
ケース3	粘着力	旧基準	$c_s = c$	$c_s = 0$
	せん断抵抗角		$\phi_B = \phi$ ($\phi = \phi_{30^\circ}$)	$\phi_B = 2/3 \phi$ ($\phi = \phi_{30^\circ}$)
	杭周面のせん断地盤反力度		新基準	上限値と等値
ケース4	粘着力	新基準	$c_s = c$	$c_s = 1/3 c$
	せん断抵抗角		$\phi_B = \phi$	$\phi_B = 2/3 \phi$ ($\phi = \phi$)
	杭周面のせん断地盤反力度		上限値と等値	上限値と等値

デルを採用した。深礎基礎は、杭径を一定として杭長の変化によって地盤定数の変化が深礎基礎に与える影響を考察することとした。なお、杭長は、レベル2地震時を想定し柱の保有耐力相当で基礎が降伏点（変位急増点）に達しない最小杭長で評価した。

4. 深礎杭の設計結果（杭長）

表-6 に上記4 ケースに対する深礎基礎の設計結果を示す。ケース2の場合、ケース1に比べて杭長が0.50m短くなる程度であり、地盤の受働抵抗に寄与する塑性化後のせん断定数は杭長を決定する上では大きく関与しないことが分かる。ケース3に着目すると、ケース1に比べて杭長が2.0m短くなり、ケース4の杭長と大きな差異が見られないことから、塑性化後の杭周面のせん断地盤反力度の見直しが、杭長の減少に大きく影響していることが分かる。

5. 考察（荷重の増加と地盤抵抗の相互関係）

塑性化後の杭前面地盤の水平抵抗力を表-7 に示す。設計計算において基礎が降伏に至るプロセスは、荷重の増加に伴い杭周面のせん断抵抗が先に塑性化に至り、それ以降は主に杭前面地盤の受働抵抗に依存することになる。杭前面地盤は荷重の増加にしたがって、表層部の軟岩層（CL級岩盤）の塑性化からはじまる。この段階では、軟岩層の塑性化後の地盤抵抗は表-7 に示すとおり塑性化前に比べて大きな低下はなく、基礎の降伏には達していない。更に荷重が増加し地盤の塑性化が第2層目の中硬岩（CM級岩盤）に達すると直ちに変位が急増し、基礎の降伏を迎えることとなる。これは、中硬岩以上の岩盤の場合、軟岩と異なり塑性化前後の地盤抵抗に大きな差異があるためである。この段階では上層部から下層部への塑性化が伝播していくため、わずかな荷重の増分で急激に塑性化が進み基礎の降伏（変位の急増）に至ることとなる。このような観点から新基準による検討結果を考察すると、地盤の受働抵抗特性の評価が杭長の減少に余り影響しなかった原因は、塑性化後の地盤抵抗は改善されたものの、塑性化の進行を止めるほどの大きな効果が現れなかったと考えられる。一方、杭周面のせん断抵抗が杭長の減少に大きく寄与した原因として、岩盤に多く根入れされた大口径深礎基礎では、基礎の剛性が大きいため地盤全体の抵抗力に占める杭周面の地盤抵抗力の割合が大きく、従来の土砂程度に評価されていた岩盤の本来の抵抗力を合理的に考慮できたことが大きいと考えられる。

図-2 に各ケースでの最大せん断力と帯鉄筋の本数との関係を示す。岩盤に設置される杭基礎には、地中部で大きなせん断力が発生する傾向があるが、杭周面のせん断抵抗が増加することでこれが減少している。これにより、基礎の剛性に見合った杭周面軸方向の地盤抵抗を適切に評価することにより杭体に作用するせん断力を変化させ得ることが確認される。従来は多数の中間帯鉄筋の配置により施工性を大きく低下させる要因となっていたが、杭周面の地盤抵抗を評価することにより配置本数が減少され施工性の向上にも効果があることが分かった。

6. おわりに

比較的良好な岩盤の地盤抵抗が深礎基礎へ与える影響を整理し、深礎基礎が降伏に至るプロセスを1例として示した。ここで示した評価方法が山岳橋梁における基礎構造のコスト縮減に寄与できれば幸いである。

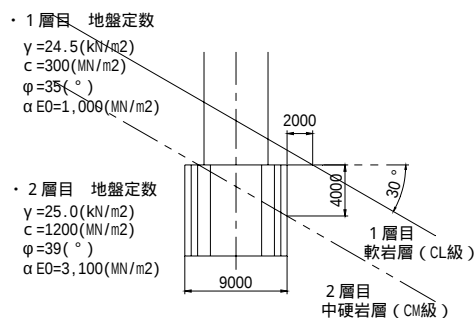


図-1 地盤モデル図

表-6 地盤モデル図

	杭長 (m)	主鉄筋	帯鉄筋 ¹
ケース1	9.50 (0.00)	D51-2段	D29-11本
ケース2	9.00 (-0.50)	D51-2段	D29-12本
ケース3	7.00 (-2.00)	D51-2段	D29-7本
ケース4	6.50 (-2.50)	D51-2段	D29-7本

帯鉄筋の本数は主鉄筋の周囲を囲む帯鉄筋2段分(4本)と中間帯鉄筋本数を示す。

表-7 杭前面地盤の水平抵抗力 (kN)

		杭前面地盤の水平抵抗力	
		塑性化前の基本値	塑性化後
		従来基準 (ケース1)	新基準 (ケース2,4)
第1層目 軟岩層 (CL級)	上層部	2,760	2,500 (91%)
	中央部	19,970	18,940 (95%)
	下層部	40,750	38,380 (94%)
第2層目 中硬岩層 (CM級)	上層部	53,850	41,650 (77%)
	中央部	99,930	51,580 (52%)
	下層部	177,630	64,370 (36%)

()内の値は塑性化前と塑性化後の比率を示す。

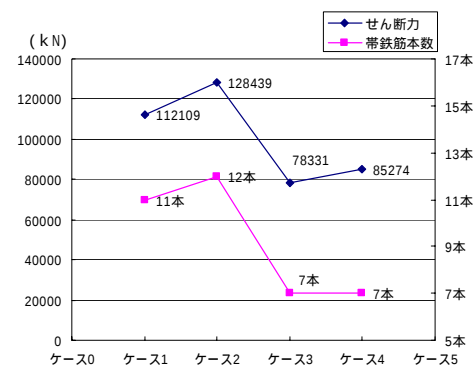


図-2 杭体せん断力と中間帯鉄筋