

H29 道路橋示方書の適用による杭基礎設計への影響に関する一考察

NEXCO 西日本コンサルタンツ株式会社 正会員 ○ 李 首一
 同上 安永 拓巳
 同上 金 元吉
 同上 小山 雅己

1. はじめに

道路橋定期点検の法定化など道路橋の長寿命化に対する社会的なニーズの増加,平成 28 年 4 月の熊本地震による道路橋の被災を受けて,平成 29 年 11 月に道路橋示方書・同解説の改定が行われた¹⁾(以下,新道示と呼称).新道示では,外的環境に関わる作用の組合せごとの設計状況や,それら設計状況に対する橋の耐荷性能や耐久性能など,H24 年道示(以下,旧道示と呼称)とは異なる設計方法が規定された.

そこで,関西地区において新しく計画された鋼連続鈹桁橋の中で,代表的な 1 基の中間橋脚を対象に,新旧道示でそれぞれ設計し,適用基準による影響を確認したため,検討結果について報告する.なお,検討の結果,対象橋脚の梁・柱といった下部工に関しては,新旧道示による設計結果の明確な差が見られなかったため,本文では基礎工(杭基礎)に着目するものとした.

2. 設計条件

橋脚:柱式橋脚

基礎:場所打ち杭

φ1200-8本(千鳥配置)

杭長 10.0m

荷重条件:表-1に示す.

杭配置:図-1に示す.

橋脚形状:図-2に示す.

土質条件: 同上

3. 新旧道示の相違点

新道示における杭基礎の設計に関する変更点の概要を以下に示す.

(1) 橋の耐荷性能,耐久性能に関する新たな規定

旧道示までは許容応力度法に代表されるような手法が主流であったが,新道示では性能規定化の新たな手法として橋の設計供用期間中の諸機能を満足させるための耐荷性能及び耐久性能が規定された.ここに,対象橋梁は耐震設計上の重要度が B 種であることから,橋を構成する各部材については耐荷性能²⁾を満足するように設計を行った.また,橋の各部材,特に本文で対象としている杭基礎については,道路ネットワークにおける路線の位置付けや代替性,性能の低下が橋の性能に及ぼす影響の程度,修繕が生じたときに橋や道路の通行に及ぼす影響の程度等を考慮して,十分な耐久性能を確保するように設計した.

(2) 杭の周面摩擦力・極限支持力の評価方法の見直し

杭基礎の設計にあたって,新道示では作用側の特性値,抵抗側の特性値にそれぞれ部分係数を考慮するように規定されるようになり,特に,杭の最大周面摩擦力 f ,杭先端の極限支持力 q_d の上限値が変更された.これは,従来の設計法において示されていた支持力の推定式が載荷試験結果を分析して得られた極限支持力の平均値よりも低い値を推定するように定められていたのに対し,新道示ではできるだけ平均的な特性を評価する方針としたためである¹⁾.

キーワード H29 年道示, H24 年道示, 杭基礎, 耐荷性能, 耐久性能, 周面摩擦力, 極限支持力

表-1 荷重条件

荷重の種類		単位	橋軸方向	直角方向
永続作用	死荷重反力	D	KN	6100
変動作用	活荷重反力	L	KN	2200
偶発作用	地震時水平反力	EQ	KN	1260 1340
	分担重量	タイプ I	KN	5900 5900
		タイプ II	KN	6200 6300



図-2 対象の橋脚構造図と土質条件

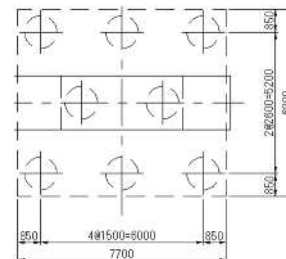


図-1 杭基礎配置図

地層	層厚 (m)	平均 N値	γ (kN/m ³)	C (KN/m ²)	ϕ (°)
B	盛土	3.300	14	20	0 37
Ac	粘性土	0.500	7	17	30 0
Ag	砂礫土	2.000	6	19	0 32
Ac	粘性土	0.700	7	17	30 0
As	砂質土	0.600	17	18	0 36
Ac	粘性土	0.700	7	17	30 0
Og	砂礫土	5.930	50	20	0 40

推定支持層線

4. 新旧道示による杭基礎設計への影響

表-2 新旧道示による杭基礎に対する設計結果の比較

(1) 設計結果概要

図-2 に示す対象構造物に対し、新旧道示による設計結果を表-2 に示す。ここに、対象橋脚の杭の本数は、適用基準に拘わらず、レベル2地震時(偶発作用時)における橋軸直角方向の杭頭押込み支持力 Ru の照査で決定している。

基準		旧道示 (H24.3)				新道示 (H29.11)						
照査方向		橋軸方向		橋軸直角方向		橋軸方向		橋軸直角方向				
決定ケース		レベル2地震動タイプII		レベル2地震動タイプI		レベル2地震動タイプII		レベル2地震動タイプI				
		応答値	許容値 比率	応答値	許容値 比率	応答値	許容値 比率	応答値	許容値 比率			
耐久性能	常時 (D+L)	杭体	圧縮	N/mm2	1.3 ≤ 8.0 (0.16)	1.3 ≤ 8.0 (0.16)	1.3 ≤ 8.0 (0.16)	1.3 ≤ 8.0 (0.16)	1.3 ≤ 8.0 (0.16)	1.3 ≤ 8.0 (0.16)		
			引張	N/mm2	-19 ≤ -200 (0.10)	-19 ≤ -200 (0.10)	-19 ≤ -200 (0.10)	-19 ≤ -200 (0.10)	-19 ≤ -200 (0.10)	-19 ≤ -200 (0.10)		
			せん断	N/mm2	0.00 ≤ 0.66 (0.00)	0.00 ≤ 0.66 (0.00)	0.00 ≤ 0.66 (0.00)	0.00 ≤ 0.66 (0.00)	0.00 ≤ 0.66 (0.00)	0.00 ≤ 0.66 (0.00)		
耐荷性能	常時 (D+L)	安定計算	水平変位	mm	0.0 ≤ 15.0 (0.00)	0.0 ≤ 15.0 (0.00)	0.0 ≤ 15.0 (0.00)	0.0 ≤ 15.0 (0.00)	0.0 ≤ 15.0 (0.00)	0.0 ≤ 15.0 (0.00)		
			押込み	kN	1731 ≤ 3044 (0.57)	1731 ≤ 3044 (0.57)	1885 ≤ 5243 (0.36)	1885 ≤ 5243 (0.36)	1885 ≤ 5243 (0.36)	1885 ≤ 5243 (0.36)		
	レベル1地震時 (D+E0)	杭体	応力度	圧縮	N/mm2	2.9 ≤ 12.0 (0.24)	3.7 ≤ 12.0 (0.31)	-	-	-	-	
				引張	N/mm2	44 ≤ 300 (0.15)	94 ≤ 300 (0.31)	-	-	-	-	
			耐荷性能	せん断	N/mm2	0.28 ≤ 1.00 (0.28)	0.29 ≤ 0.50 (0.57)	-	-	-	-	
				せん断	kN-m	-	-	386 ≤ 1583 (0.24)	498 ≤ 1441 (0.34)	298 ≤ 1159 (0.26)	298 ≤ 1159 (0.26)	
			レベル2地震動 (偶発)	杭体	杭頭押込み反力	kN	4424 ≤ 9254 (0.48)	8266 ≤ 9178 (0.90)	4520 ≤ 11343 (0.40)	9612 ≤ 11268 (0.85)	4520 ≤ 11343 (0.40)	9612 ≤ 11268 (0.85)
					曲げ (杭1)	kN-m	1193 ≤ 2019 (0.59)	1389 ≤ 2019 (0.69)	1193 ≤ 2041 (0.58)	1717 ≤ 2066 (0.83)	1193 ≤ 2041 (0.58)	1717 ≤ 2066 (0.83)
	レベル2地震動 (偶発)	杭体	曲げ (杭2)	kN-m	939 ≤ 1565 (0.60)	1141 ≤ 1582 (0.72)	928 ≤ 1565 (0.59)	1420 ≤ 1582 (0.90)	928 ≤ 1565 (0.59)	1420 ≤ 1582 (0.90)		
			せん断	kN	6210 ≤ 10083 (0.62)	8056 ≤ 10083 (0.80)	6354 ≤ 10671 (0.60)	8200 ≤ 10782 (0.76)	6354 ≤ 10671 (0.60)	8200 ≤ 10782 (0.76)		

(2) 新旧道示による設計結果への影響

表-3 新旧道示による杭の軸方向ばね定数 Kv の比較

1) 耐荷性能

レベル2地震時の偶発作用による杭頭の曲げ照査では、新道示による橋軸直角方向の照査で、応答値が旧道示より大きくなった。これは表-3に示すとおり、新道示では杭の軸方向ばね定数 Kv が旧道示より11%小さくなったこと、表-4に示すとおり杭の周面摩擦力について新道示による計算結果が旧道示より小さくなったことにより、引張側の杭が早い段階で周面摩擦の上限値に達したため、圧縮側の杭頭で断面力が集中し、曲げモーメントが大きくなったと考えられる。

記号	単位	旧道示 (H24.3)	新道示 (H29.11)	備考
Kv	kN/m	456959 (1.00)	405039 (0.89)	旧道示: $Kv = a \cdot (A \cdot E) / L$ 新道示: $Kv = 1 / [(L/2AE) \cdot (1 + \gamma_v - \xi_a) + \xi_a \cdot (4 \cdot \gamma_v) / (\pi \cdot Dp^2 \cdot kv)]$
A	m ²	1.1	1.1	旧道示と比べ、新道示の Kv は 11% 減少
E	kN/m ²	2.50E+07	2.50E+07	
L	m	9.9	9.9	
a	-	0.2	-	$a = 0.031 \cdot (L/D) - 0.15$ ただし、L/D < 10の場合、L = 10 · D
Dp	m	-	1.2	
kv	kN/m ³	-	145193	$kv = \lambda \cdot Ho \cdot (D/0.3)^{-3/4}$
Ho	kN/m ³	-	410667	$Ho = \alpha Eo (EQ無し) / 0.3$ で、 $\alpha Eo (EQ無し) = 123200$
D	m	1.2	1.2	
λ	-	-	1.0	$\lambda = 1.0$
γv	-	-	0.4	$\gamma_v = \lambda_{yv} \cdot \gamma_u (0 \leq \gamma_v \leq 1)$
λyv	-	-	0.5	場所打ち杭工法: 0.48
γu	-	-	0.8	$\gamma_u = R_{up} / R_u$
Rup	kN	-	9048	$R_{up} = qd \cdot A$
Ru	kN	-	11483	$R_u = qd \cdot A + U \cdot \sum (Li \cdot fi)$
ξa	-	-	0.3	場所打ち杭工法: 0.30
ξd	-	-	1.0	場所打ち杭工法: 0.99

2) 耐久性能

耐久性能は、材料の経年的な劣化が橋の耐荷性能に影響を及ぼさないことを照査するもので、荷重の割増は行わないため、今回の設計では常時 (D+L) における照査に関しては新旧道示による差が見られなかった。

3) 杭基礎の支持力に関する照査

表-2 に示すように、押込み支持力に対する照査では、いずれも新道示の方が旧道示より余裕量が大きくなった。これは、対象橋脚の支持層の種類が砂れき層であるため、表-4 に示すように、杭先端の極限支持力度 qd の上限値が、旧道示の5000kN/m²に対し、新道示では8000kN/m²まで大きくなった影響が大きいと考えられる。ここに、表-4 に示す支持力 Ru の値が表-2 と異なるのは、表-2 では液状化の影響による土質定数の低減で、杭の最大周面摩擦力 f が減少したためである。

表-4 新旧道示による杭の押込み支持力の算出結果の比較比較

記号	単位	旧道示 (H24.3)	新道示 (H29.11)	備考
Ra	kN	3044 (1.00)	5243 (1.72)	旧道示: $Ra = \gamma / n \cdot (Ru - Ws) + Ws - W$ 新道示: $Ra = \xi \cdot 1 \cdot \Phi_y \cdot \lambda \cdot f \cdot \lambda_n \cdot (Ry - Ws) + Ws - W$
ξ1	-	-	0.90	推定値から求める場合: 0.90
Φy	-	-	0.80	推定値から求める場合: 0.80 (場所打ち杭)
λf	-	-	1.00	支持杭道示: 1.00
λn	-	-	1.00	1.00を標準とする
γ	-	1.00	-	支持力推定式: 1.00
n	-	3.00	-	常時: 3.0, 地震時: 2.0
Rv	kN	-	7464	$Rv = 0.65 \cdot Ru$
Ws	kN	113	113	$Ws = A \cdot \sum (\gamma_i \cdot Li)$
W	kN	162	162	$W = \sum (W'' \cdot L + Wo \cdot Lo)$
Ru	kN	9393 (1.00)	11483 (1.22)	$Ru = qd \cdot A + U \cdot \sum (Li \cdot fi)$
qd	kN/m ²	5000 (1.00)	8000 (1.60)	旧道示: N ≥ 30は3000, N ≥ 50は5000 新道示: 砂層は110 · N (N ≤ 3300), 砂れき層は160 · N (N ≤ 8000)
A	m ²	1.13	1.13	
U	m	3.77	3.77	新道示では qd の上限値が向上
Li · fi	kN/m	991.7 (1.00)	646.0 (0.65)	旧道示 fi: 砂質土は5 · N (N ≤ 200), 粘性土はc又は10 · N (N ≤ 150) 新道示 fi: " は5 · N (N ≤ 120), " はc又は5 · N (N ≤ 100)

5. まとめ

同じ構造諸元を有する杭基礎を対象に新旧道示による設計への影響を確認すると、新道示は荷重係数や荷重組合せ係数の影響で応答値が大きくなる傾向にあるが、同時に制限値も上昇したため、今回の設計では結果的に余裕量は旧道示より若干大きくなる傾向が見られた。特に、基礎の支持力に関する照査では支持地盤の種類が砂れき層の場合、新道示を適用することで余裕量が大きくなるのが分かった。

参考文献 1) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I, III, IV, V, 平成 29 年 11 月。