同一フーチング内で杭長が大きく変化する橋梁基礎杭の設計

㈱ドーユー大地　正会員　○長瀬　竜也
㈱ドーユー大地　正会員　中谷　隆生
八千代エンジニアリング㈱　後藤　雄一
東日本高速道路㈱　正会員　加藤　真司

1. はじめに

東北中央自動車道のうち，山形県南部に位置する南陽高畠IC～上山IC間の起点側約3.0kmの区間は，有機質土と粘性土が砂質土を挟みながら互層状に厚く堆積する地盤である．さらに，橋梁区間の支持層深度が最大85mと非常に深く，支持層が大きく起伏している特徴を持っており，この区間に架橋される橋梁は基礎構造の計画が非常に重要である．本稿では，同区間に架橋される橋梁の基礎工で，同一フーチング内で杭長が大きく変化する杭基礎の設計方法とその結果について報告する．

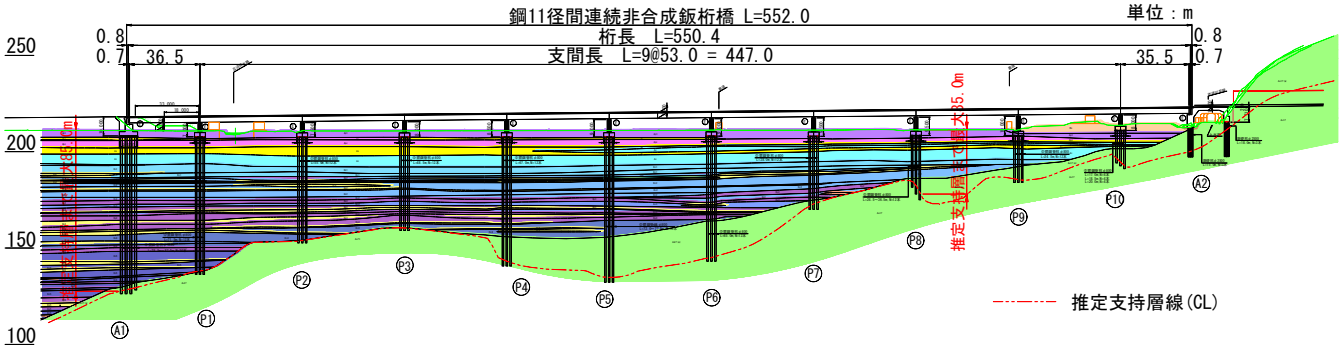

図1　橋梁側面図および推定支持層縦断図

2. 橋梁諸元

表1に橋梁諸元を，**図**1，2に橋梁側面図および標準断面図を示す．橋梁型式は，鋼連続少数鈑桁を採用し，基礎形式は，架橋地点が軟弱地盤であり，現地盤より最大85m以深に分布しているN値100以上のAuct層(凝灰岩)を支持層とすることから，長尺杭の施工が可能な杭基礎を前提に，杭種・杭径比較をおこない，中掘鋼管杭φ800を採用した．

表1　橋梁諸元

道路規格	第1種第2級B規格
橋梁形式	鋼11径間連続(活荷重)合成少数鈑桁橋
橋　長	552.000m
桁　長	550.400m
支　間	36.500m+9@53.000m+35.500m
有効幅員	10.260m ～ 14.260m
平面線形	R=∞
耐震区分	B2地域(山形県　Cz=0.85 Cz Ⅰ=1.00 Cz Ⅱ=0.85)
地盤種別	Ⅲ種地盤
下部型式	逆T式橋台(A1)、ラーメン式橋台(A2) 壁式橋脚(P1～P11)
基礎型式	中掘り鋼管杭φ0.8m(A1～P11)、深礎杭φ2.5m(A2)

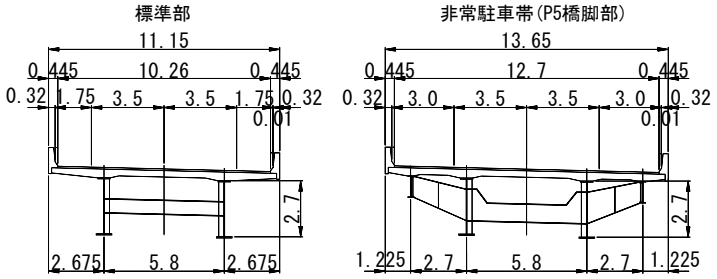

図2　標準断面図

3.杭長変化による杭頭反力への影響

既往の地質調査[1]の結果より，支持層の傾斜が想定されたことから，追加のボーリング調査[2]をおこない，**図**3に示す支持層コンター図を作成して杭長を決定した．この結果，**図**4に示すとおり，同一フーチング内で杭長が大きく変化することになり，P8橋脚では最大12.0mの杭長差が生じる．杭の軸直角方向ばね(K1～K4)[3]は，1/βの範囲でばね定数が決定するため，杭長によるばね定数の差は生じないが，杭の軸方向ばね(Kv)[3]は杭長によりばね定数が異なるため，鉛直方向の杭頭反力に差が生じる．P8橋脚について，**表**2に杭

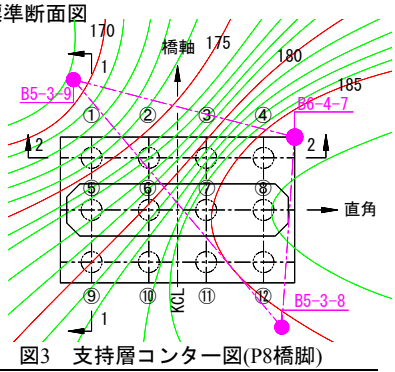

図3　支持層コンター図(P8橋脚)

キーワード　軟弱地盤，橋梁基礎，中掘鋼管杭，杭長変化，杭の軸方向ばね定数(kv)
連絡先　〒733-0037　広島県広島市西区西観音町 17-17 ㈱ドーユー大地　TEL：082-532-5120　FAX：082-532-5130

のばね定数、**表3**に単位荷重(N=12,000kN、H=12,000kN、M=12,000kN･m)を載荷した場合の杭頭反力を示す．杭の軸直角方向ばね (K1～K4)は同一であるため，杭頭水平力，杭頭モーメントは全杭同一の値となるが，**表3**のように杭頭反力は同一方向の列内で差が生じるものとなる．杭長差が小さければ杭頭反力に対する影響は小さいが，杭(①)と杭(④)のように杭長が12.0mと大きく異なる場合，杭の軸方向ばね(Kv)が21.0%と大きく異なることで杭頭反力も大きく異なる．そのため，P8橋脚では杭長の変化を考慮した設計をおこなうものとした．

表2　杭のばね定数

杭番号				杭の軸方向ばね定数Kv(kN/m)			
①	②	③	④	121,788	126,620	132,405	148,245
⑤	⑥	⑦	⑧	126,620	132,405	140,876	148,245
⑨	⑩	⑪	⑫	132,405	138,177	140,876	148,245
杭長L(m)				杭の軸方向ばね定数Kvの比率			
36.5	33.5	30.5	24.5	0.93	0.97	1.02	1.14
33.5	30.5	27.0	24.5	0.97	1.02	1.08	1.14
30.5	28.0	27.0	24.5	1.02	1.06	1.08	1.14

Kvの算出式

$$Kv = a \frac{Ap \cdot Ep}{L}$$

Kv: 杭の軸方向ばね定数(kN/m)
Ap: 杭の純断面積(mm2)
Ep: 杭のヤング係数(kN/mm2)
L: 杭長(m)
a: 中掘り杭　a = 0.010(L / D) + 0.36

表3　単位荷重載荷による各杭の杭頭反力

鉛直力によるPN(kN)							
980	975	975	1040				
996	997	1012	1015				
1019	1016	987	989				
水平力(直→)によるPN(kN)				水平力(軸↑)によるPN(kN)			
-1360	-518	395	1490	1661	1712	1775	1971
-1401	-528	434	1506	54	41	28	12
-1451	-537	449	1521	-1693	-1782	-1832	-1946
曲げモーメント(直→)によるPN(kN)				曲げモーメント(軸↑)によるPN(kN)			
-466	-178	135	511	570	587	609	676
-480	-181	149	516	18	14	10	4
-498	-184	154	522	-581	-611	-628	-667

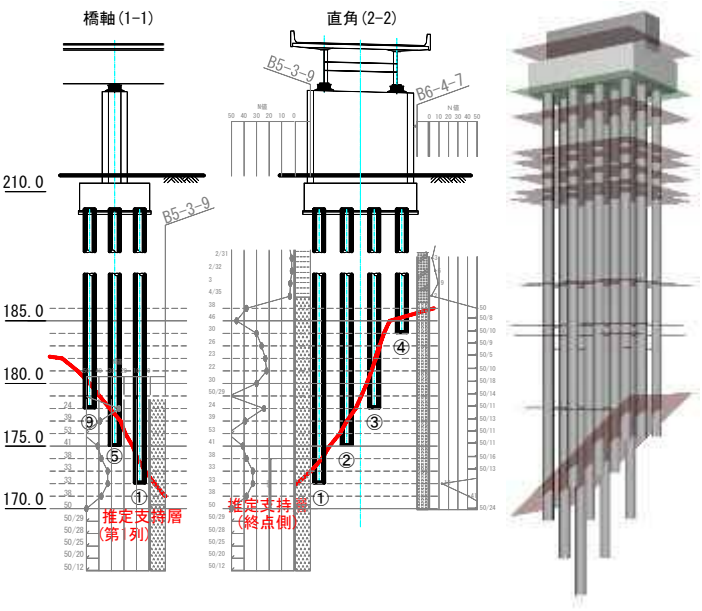

図4　基礎杭の杭長変化図(P8橋脚)

4. 計算結果

4-1. 安定計算結果

表4に安定計算結果を示す．最も短い杭で計算上厳しい結果となり，橋軸方向は温度時の押込力，橋軸直角方向は地震時の引抜力の照査で決定している．橋軸方向の押込力は許容値に対して92%，橋軸直角方向の引抜力は94%という結果であった．

4-2. レベル2地震動に対する基礎の照査

レベル2地震動に対する基礎の照査においても，杭長変化の影響を考慮して設計した．レベル2地震動については，橋軸方向は杭体の耐力照査で決定し，橋軸直角方向は耐力照査で基礎の降伏を許容し，変位の照査において許容値に対する制限値を満足する結果を得た．

表4　安定計算結果(P8橋脚)

杭番号				杭長L(m)			
①	②	③	④	36.5	33.5	30.5	24.5
⑤	⑥	⑦	⑧	33.5	30.5	27.0	24.5
⑨	⑩	⑪	⑫	30.5	28.0	27.0	24.5

安定計算結果(L1)
橋軸方向
温度時

杭頭反力PN(kN)				許容押込力Ra(kN)				許容引抜力Pa(kN)			
1,823	1,827	1,840	1,982	2,183	2,177	2,171	2,159	0	0	0	0
1,494	1,492	1,511	1,512	2,176	2,169	2,162	2,159	0	0	0	0
1,143	1,119	1,066	1,043	2,168	2,163	2,162	2,159	0	0	0	0

地震時

杭頭反力PN(kN)				許容押込力Ra(kN)				許容引抜力Pa(kN)			
2,175	2,205	2,246	2,448	3,244	3,241	3,237	3,231	-1,393	-1,227	-1,061	-638
1,147	1,140	1,149	1,143	3,240	3,236	3,232	3,231	-1,137	-971	-762	-638
33	-27	-91	-162	3,235	3,232	3,232	3,231	-881	-758	-762	-638

橋軸直角方向
風荷重時

橋軸直角方向の杭反力PN(kN)				許容押込力Ra(kN)				許容引抜力Pa(kN)			
2,422	1,681	1,147	660	3,244	3,241	3,237	3,231	-1,393	-1,227	-1,061	-638
2,393	1,760	1,173	661	3,240	3,236	3,232	3,231	-1,137	-971	-762	-638
2,363	1,732	1,196	665	3,235	3,232	3,232	3,231	-881	-758	-762	-638

地震時

橋軸直角方向の杭反力PN(kN)				許容押込力Ra(kN)				許容引抜力Pa(kN)			
2,609	1,666	648	-500	3,244	3,241	3,237	3,231	-1,393	-1,227	-1,061	-638
2,674	1,702	646	-545	3,240	3,236	3,232	3,231	-1,137	-971	-762	-638
2,757	1,735	604	-598	3,235	3,232	3,232	3,231	-881	-758	-762	-638

5. まとめ

今回の設計では，同一フーチング内で杭長が大きく変化していることで杭頭反力に与える影響が大きいことから，杭単位で杭長差による杭の軸方向ばね(Kv)を評価して設計したものである．杭長を変化させることで煩雑な設計になったものの，それぞれの杭が負担する鉛直力の分担を適切に評価することで，橋軸方向および橋軸直角方向で杭長差が大きく異なる場合でも適切な設計をおこなうことができた．

参考文献

(1)東日本高速道路株式会社：「白竜湖地区構造物概略検討」報告書，2009.　(2)東日本高速道路株式会社：「白竜湖橋構造物基礎補足調査」報告書，2013.　(3) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編，pp.377-456，2013.