

清水建設(株) (正)田蔵 隆 (正)中松 新 (正)清水 勝美 (正)木全 宏之 (正)古川 禎一

1. 概説 筆者らは軟弱地盤に建設された道路橋において、基礎杭の地震時挙動の解明を目的として地震観測を実施している¹⁾。本報はこれまでに得られた観測記録に基づき、基礎杭の耐震性について考察を行ったものである。

2. 地震観測の概要 地震観測は図1に示す地震計配置により実施している。地震観測の対象としたP6橋脚は斜杭を含む64本(8列×8列)の鋼管杭(杭径 $\phi=600$ mm、杭長 $\ell=22$ m、直杭肉厚 $t=9$ mm、斜杭肉厚 $t=12$ mm)で支持されており、杭先端は支持層中に十分根入れされている。本道路橋の建設地盤は海岸砂洲によるおぼれ谷閉塞の典型的な軟弱地盤である。図2にP6橋脚近傍で実施した土質調査結果を示す。

3. 観測記録に基づく基礎杭の地震時ひずみ分布 図3に昭和58年8月8日の神奈川・山梨県境地震($M=6.0$ 、 $\Delta=42$ km、 $D=20$ km、地盤地表部での最大加速度 113.6cm/sec^2)による基礎杭の地震時ひずみ分布を示した。これは杭頭部で最大ひずみが発生した時刻を中心にその前後5秒間のひずみ分布の経時変化を見たものである。図中の ϵ_N は軸ひずみ、 ϵ_{My} および ϵ_{Mz} は橋軸方向および橋軸直角方向回りの曲げひずみを表す。基礎杭に発生する曲げひずみは杭頭部と杭先端部で大きく、杭の中間部では小さいことがわかる。なお、杭先端部における大きな曲げモーメントの発生は観測された地震記録のすべてに共通して見られた現象である。

4. 基礎杭の地震被害とそれに対する考察 基礎杭の震害調査報告の中から、調査が杭の全長に渡って行われたものについて調べ、前節の地震観測結果との対応により杭の被害箇所と地層の関係について考察した²⁾。

1964年の新潟地震による昭和大桥のP4橋脚の基礎杭(鋼管杭、 $\phi=600$ mm、 $\ell=25$ m、上杭 $t=16$ mm、下杭 $t=9$ mm)の被害調査結果が福岡によって報告されている³⁾。図4はその被害状況を示したものであるが、杭先端から約6mの位置で曲げによる永久変形が生じていたとされているが、この位置は図中に併記されている土質柱状図において、N値が10程度の地層から30程度の地層に変化する境界部に一致していることがわかる。また、同じ新潟地震によって被害を受けた事務所ビルの基礎杭(RC杭、 $\phi=300$ mm、 $\ell=10$ m)の震害調査結果が西沢らによって報告されている⁴⁾。図5はその被害状況を示したものであるが、フーチングから下方に3.1m~3.5mの位置と杭先端部から上方に2.2mの所で破損が著しく、コンクリートが圧壊剝離し軸方向鉄筋およびスパイラル補強筋が露出していたと報告されている。図中の土質柱状図から、杭先端部における被害の位置は支持層と表層の境界に一致していることがわかる。さらに、1978年の宮城県沖地震においてもRC造3階建の事務所の基礎杭(RC杭、 $\phi=250$ mm、 $\ell=5$ m)の被害調査結果が報告されている⁵⁾。図6は杭の被害状況について示したものである。基礎杭のひび割れが地層剛性の変化する杭先端部においても見られる。

本節で示した基礎杭の地震被害はいずれも地層剛性が変化する部分で発生しており、地震観測結果において見られた杭先端部での大きな曲げモーメントの発生が杭の地震被害に結びついている可能性が考えられる。

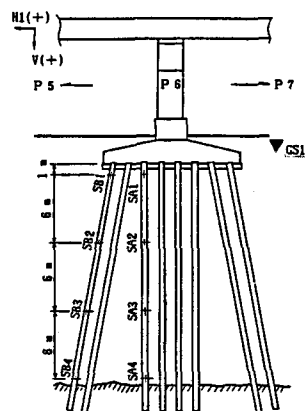


図1 基礎杭に対する地震計配置

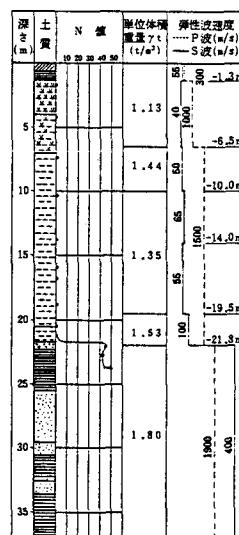


図2 地盤の土質調査結果

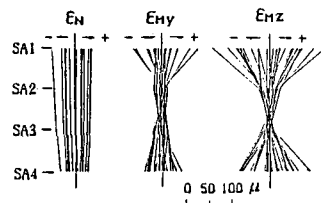


図3 直杭の地震時ひずみ分布

5. 基礎杭の地震時最大垂直ひずみに対する回帰式の検討 観測地震のうち主要9地震に対する地盤地表部の最大加速度 α_{max} および直杭杭頭部の最大垂直ひずみ ϵ_{max} 、ならびにマグニチュード M と震央距離 Δ を表1に示した。これより、 ϵ_{max} に対する M と Δ の関係式ならびに ϵ_{max} に対する α_{max} の関係式として、次式が得られた(図7参照)⁶⁾。

$$\log_{10} \epsilon_{max} = -1.379 \log_{10} \Delta + 0.779M - 0.254 \quad \dots (1)$$

$$\log_{10} \epsilon_{max} = 0.961 \log_{10} \alpha_{max} + 0.367 \quad \dots (2)$$

当基礎の設計上の杭の許容ひずみから常時に作用している垂直ひずみを差し引くと $\epsilon_a = 867 \mu$ となり、(2)式からこの値に対応する加速度 α_{max} を計算すると $\alpha_{max} = 475 \text{ cm/sec}^2$ となる。当基礎は水平設計震度 $K_h = 0.25$ で設計されたもので、(2)式の回帰式が強震時においても適用可能であるとすると、設計震度 $K_h = 0.25$ が地盤の最大加速度 $\alpha_{max} = 475 \text{ cm/sec}^2$ に対応していることになる。

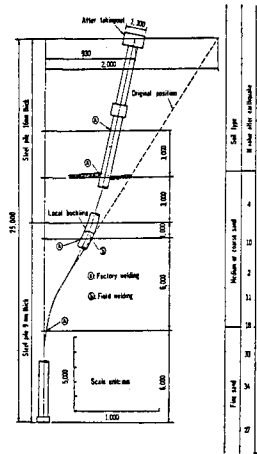


図4 1964年新潟地震による昭和大桥P4橋脚基礎杭の被害状況³⁾

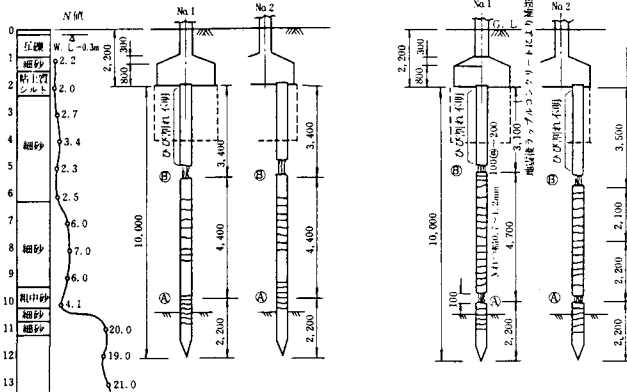


図5 1964年新潟地震による事務所ビルの基礎杭の被害状況⁴⁾

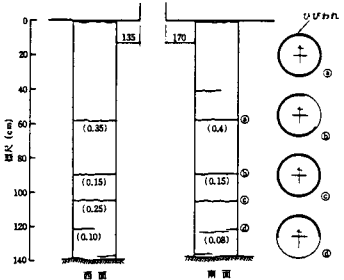


図6 1978年宮城県沖地震による事務所ビルの基礎杭の被害状況⁵⁾

表1 地震観測記録

No.	マグニチュード M	震央距離 Δ (km)	地盤の最大 加速度 α_{max} (cm/sec^2)	直杭の最大 垂直ひずみ $\epsilon_{max} (\mu)$
4	6.7	263	10.3	21.1
5	5.4	240	1.9	4.8
6	5.6	161	8.0	9.6
7	7.0	238	19.7	65.4
8	6.9	677	7.8	19.3
11	6.0	81	31.9	64.9
12	6.0	42	114.6	181.7
13	5.4	38	28.3	50.8
14	7.9	666	41.7	106.2

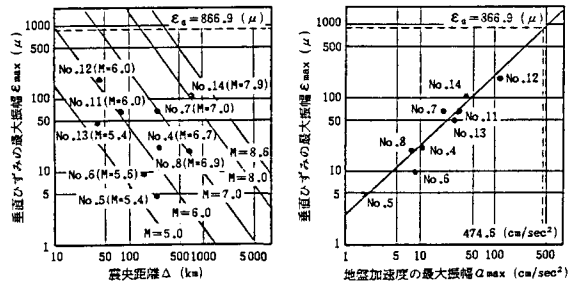


図7 基礎杭の地震時最大垂直ひずみに対する回帰式

6. 謝辞 道路橋基礎杭の地震観測を実施する上で、藤沢市建設局西野康雄氏はじめ多くの方々にご多大な便宜を計って頂いた。記して深謝の意を表す次第である。

7. 参考文献

- (1) 大平彰、田蔵隆、中桢新、清水勝美：軟弱地盤中の基礎杭の地震時挙動特性に関する研究、土木学会論文集、第I部門。
- (2) 田蔵隆、中桢新、清水勝美、木全宏之、古川慎一：基礎杭の地震被害に対する一考察、第20回土質工学研究発表会、1985年6月。
- (3) Fukuoka, M.: Damage to Civil Engineering Structures, Soil and Foundation, Vol.6, No.2, March, 1966.
- (4) 西沢敬明、河村壮一、田尻貞夫：新潟地震時に被災した既製RCぐいの調査と耐震解析(その1)、日本建築学会大会学術講演会梗概、昭和57年10月。
- (5) 日本建築学会編：1978年宮城県沖地震災害調査報告、日本建築学会、昭和55年2月。
- (6) 田蔵隆、中桢新、清水勝美、木全宏之、古川慎一：基礎杭の地震時最大ひずみに対する回帰式の検討、第20回土質工学研究発表会、1985年6月。