

(III-77) 衝撃的上下動を受ける杭の破壊メカニズムに関する実験的研究

武蔵工業大学 学生会員○北山 剛 河又 健時

武蔵工業大学 正会員 片田 敏行 末政 直晃

1. はじめに

先の兵庫県南部地震では、杭基礎に多大な被害が生じた。その被害原因の中に、鉄筋コンクリート橋脚の水平輪切りひび割れ、煙突の引張破断などが報告されている¹⁾。また、被災者の多くの人が「はじめに突き上げるような衝撃的な揺れがきた後、激しい横揺れとなった。」という証言をしており、このことから地震時初期に発生する直下型地震特有の衝撃的上下動が被害の原因となっていることを示唆している。それゆえ、衝撃的上下動を受ける基礎杭の挙動や被害原因の解明が必要とされている。そこで本研究では、衝撃突き上げ載荷装置を開発し、衝撃的上下動を受ける基礎杭の挙動を再現し、杭の破壊メカニズムを実験的に検討した。

2. 模型杭の材料特性

本実験で使用する模型杭(セメントペースト製:W/C=60%;杭長90cm;杭径4cm)の材料特性を求めるため、圧縮強度試験と引張強度試験を行なった。なお、供試体は、材令28日の模型杭を長さ80mmに切断し、圧縮強度試験用の供試体に限り、上、下端を水平にするため硫黄キャッピングを施した。その結果を表-1に示す。ただし、表中の引張ひずみ限界は $\epsilon_t = \sigma_t / E$ として求めた。

3. 実験概要

本実験では、台座:円筒状容器;てこ装置;載荷板落下装置より構成される衝撃突き上げ載荷装置(図-1)を用い、てこの原理により杭先端に衝撃を加える。そして杭内部に応力波を発生させ、その結果、模型杭には水平輪切りひび割れを生じさせた。試料土には豊浦砂を用い、塩化ビニール製の円筒状容器(内径20cm;高さ100cm)の中心に杭を設置し、空中落下法により相対密度60%の模型地盤を作製した。また、上部構造物の重量を与えるため、模型杭の杭頭部に上部重錘固定器具を取り付け、荷重を加えた。衝撃の入力は、載荷板の重量14kgf;高さ50cmに設定し、基盤および上部構造物に加速度計、杭中央、上・下端より10cmにひずみゲージを貼り付けた。そして、入力加速度、応答加速度及び各部のひずみを計測した。本実験では、上部構造物の重量の違いが杭の破壊メカニズムに及ぼす影響を把握するため、実験条件は表-1に示すように載荷荷重なし及び載荷荷重が杭の重量が1, 5, 10倍の計4ケース行った。

3. 実験結果

ケース1では、杭先端より23cmで輪切り状のひび割れが生じ、最大加速度470400gal、最大速度116cm/sec、杭下部で最大圧縮

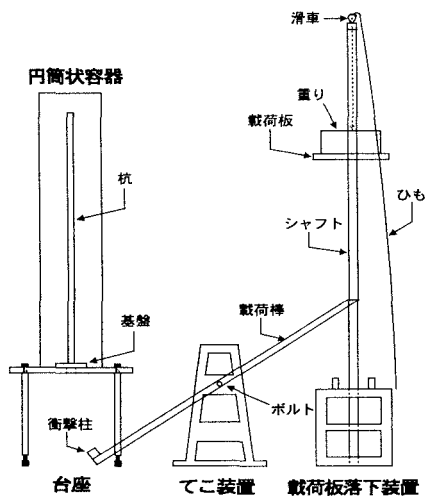


図-1 衝撃突き上げ載荷装置

表-1 模型杭の材料特性

圧縮強度(kgf/cm ²): σ_c	250
圧縮ひずみ限界($\mu\epsilon$): ϵ_c	3360
引張強度(kgf/cm ²): σ_t	21
引張ひずみ限界($\mu\epsilon$): ϵ_t	175
弾性係数(kgf/cm ²): E	120000

表-2 実験条件

	杭の長さ (mm)	杭の重量 (gf)	載荷荷重 (gf)
ケース1	920	1980	0
ケース2	900	1717	2010
ケース3	920	1685	8534
ケース4	920	1688	17000

キーワード: 衝撃, 上下動, 杭, 水平輪切りひび割れ, 衝撃突き上げ載荷装置

連絡先: 武蔵工業大学(世田谷キャンパス) 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL&FAX 03-5707-2202

ひずみ -2000μ ，杭上部で最大引張ひずみ $+760\mu$ を記録した(図-2)．載荷荷重がない場合，杭中央部で大きな軸応力が発生し，圧縮側から引張側への移行時に杭中央部で 2520μ の伸縮があった．また，衝撃後すぐに振幅が小さくなっていることより，載荷直後，圧縮応力から引張応力への移行時(1.8msec時)に引張破壊したと考えられる．

ケース2では，杭先端より21cm・39cmの2箇所で輪切り状のひび割れが生じ，最大加速度 882000gal ，最大速度 147cm/sec ，杭下部で最大圧縮ひずみ -3880μ ，杭上部で最大引張ひずみ $+460\mu$ を記録した(図-3)．載荷荷重が杭の重量の1倍の場合，杭の一部に大きな応力は発生せず，杭全体へ均一に伝播されたため2箇所で破断したと考えられる．また，圧縮側から引張側への移行時に杭下部で 2880μ ，杭中央部で 2950μ の伸縮があった．さらに，ケース1と同様，載荷直後，振幅が小さくなっていることより，ケース2では衝撃直後の圧縮応力から引張応力への移行時(2.4msec)に引張破壊したと考えられる．

ケース3では，杭先端より59cmで輪切り状のひび割れが生じ，最大加速度 852600gal ，最大速度 135cm/sec ，杭下部で最大圧縮ひずみ -2510μ ，杭上部で載荷直後の最大引張ひずみ -500μ を記録した(図-4)．載荷荷重が杭の重量の5倍の場合，載荷初期に圧縮側のみで振動し，杭下部で 1800μ ，杭中央部で 1550μ 伸縮後，引張側へ伝わった．従って，ケース3では衝撃直後，圧縮側での振動時に引張破壊したか，載荷時に座屈により曲げ破壊したか，またはその後引張破壊したと考えられる．

ケース4では，輪切り状のひび割れ破壊は生じなかった．また，最大加速度 862400gal ，最大速度 134cm/sec ，杭下部で最大圧縮ひずみ -2300μ ，杭中央部で載荷直後の最大引張ひずみ -100μ を記録した(図-5)．載荷荷重が杭の重量の10倍の場合，ケース3と同様，載荷初期に圧縮側のみで振動し，杭下部で 1800μ ，杭中央部で 1600μ 伸縮後，引張側へ伝わった．ケース4では，載荷荷重が重い場合引張破壊しなかったと考えられる．また，載荷荷重が重い場合，杭頭部で圧縮破壊がする可能性があるが，衝撃の入力が弱いので起こらなかったと考えられる．

4. まとめ

本実験では，衝撃力を載荷板の重量 14kgf ，高さ 50cm に設定して行い，以下の知見を得た．①載荷荷重の重量の違いにより，杭の破壊モード及び挙動が異なることが分かった．②載荷荷重が軽い場合は，圧縮側から引張側への移行時に引張破壊が生じると考えられる．③今回設定した衝撃力では，載荷荷重が重くなるにつれ杭頭部に近い位置で水平輪切りひび割れが生じると考えられる．

【参考文献】

- 1)別府ら：「衝撃突き上げ装置によるRC橋脚模型の輪切り状ひび割れに関する実験的研究」，土木学会論文集，No.557/I-41，pp165～180，1997.10.

表-3 実験結果

	杭の破断位置(mm)	最大加速度(gal)	最大速度(cm/sec)
ケース1	23	470400	116
ケース2	21, 39	882000	147
ケース3	64	852600	135
ケース4	なし	862400	134

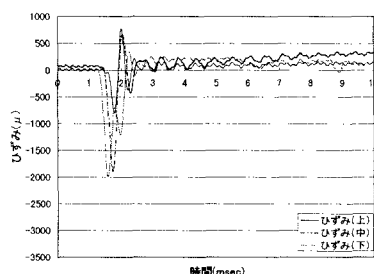


図-2 ケース1の時間～ひずみ関係

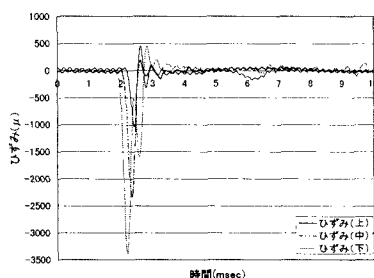


図-3 ケース2の時間～ひずみ関係

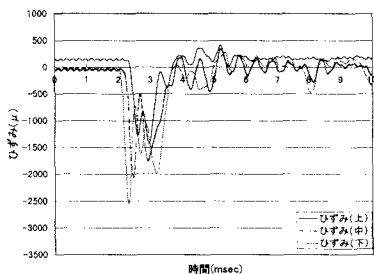


図-4 ケース3の時間～ひずみ関係

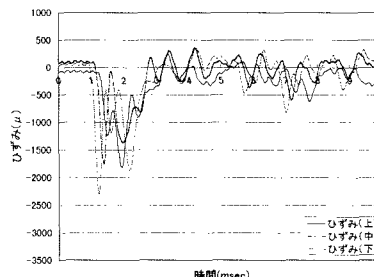


図-5 ケース4の時間～ひずみ関係