

載荷方法が異なるフーチングの損傷状況に関する解体調査

国立研究開発法人土木研究所 正会員 ○江口康平, 正会員 大住道生, 正会員 有馬 俊

1.はじめに

杭基礎を有するフーチングは地震動が作用しても、損傷が生じないように設計されることが一般的であるが、兵庫県南部地震では過去の基準を適用した既設フーチングに損傷が確認されている。フーチングの耐荷特性については、土木研究所でも検討してきたが、一方向からの漸増または繰返し載荷での検討である。実際の地震動では複数方向からの繰返し作用が生じることが想定されるため、損傷状況が既往の実験と異なる可能性がある。そこで著者等は、フーチングの耐荷特性を評価する標準的な方法を検討するための基礎的な検討として、正負交番の3回繰返し載荷を行い、土木研究所で従来から行われている載荷方法との比較を行ってきた。本稿では、載荷試験後のフーチング供試体の解体調査を行い、内部のひび割れ状況や鉄筋の変形状況を調査した。

2.載荷試験概要

載荷試験を行ったフーチング模型供試体の概形及び配筋状況を図-1に示す。フーチング部の寸法は1950×1500×500mm、柱部は750×500×2300mmである。フーチングに用いた鉄筋はD10鉄筋とした。なお、フーチング上面鉄筋に関しては、載荷方向と同方向の鉄筋を上側に配置している。載荷方法は、一方向載荷および正負交番載荷とし、フーチング上面鉄筋いずれかが初めて降伏した際の変位を基準変位とした。載荷ステップは基準変位毎に3回繰返し載荷とし、正負交番載荷に関しては、正負方向に載荷することを1サイクルとした。載荷試験時の荷重と塑性率の関係を図-2に示す。最大荷重までは大きな違いが見られないが、それ以降は、正負交番載荷を行った場合は荷重の減少が大きく、載荷方法がフーチングの耐荷特性に影響を与えることを確認した。詳細については既報を参照されたい。

3.解体調査概要

解体調査は図-3に示す断面で切断を行い、切断面のひび割れ発生状況を観察した。なお、正負交番載荷後の供試体に関しては、鉛直荷重に対する耐荷特性を検討する為に、約500kNの鉛直載荷試験を行った後に解体調査した。観察後はフーチング上面のコンクリートをはつり、上面鉄筋を露出させ、載荷方向鉄筋とそれに直交する鉄筋の交点位置で高さ方向の座標位置を測定した。測定にあたっては、フーチング下面を便宜上の原点高さとして、直定規を用いて1mmの精度で測定し、図面上の鉄筋位置との乖離を算出した。なお、鉄筋かご製作後の鉄筋位置については、数mmの誤差が含まれていると考えられる。

4.解体調査結果

図-4、図-5に一方載荷後および正負交番載荷後のひび割れ状況を示す。一方載荷では、柱部押し込み部～フーチング下面鉄筋位置～A面側のフーチング上面側へと円弧状のひび割れが連結しており、水平載荷により柱基部を中心に回転したと推測される。正負交番載荷を見ると、一方載荷で確認された柱基部のひび割れが確認されず、フーチング下面からフーチング上面方向の斜めひび割れがA、B両面に発生している状況が確認された。一方載荷の場合は、柱基部に圧縮ストラットを形成していたと考えられるが、正負交番載荷の場合、負方向載荷による引張力で損傷したため、ひび割れに囲まれた

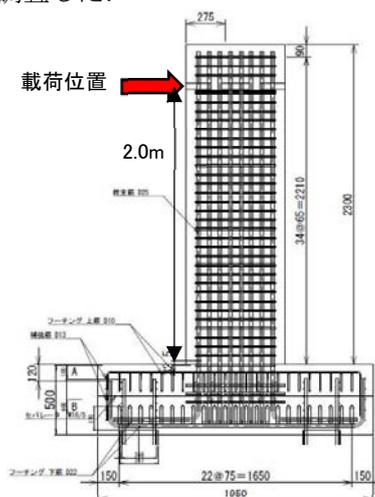


図-1 フーチング模型概要

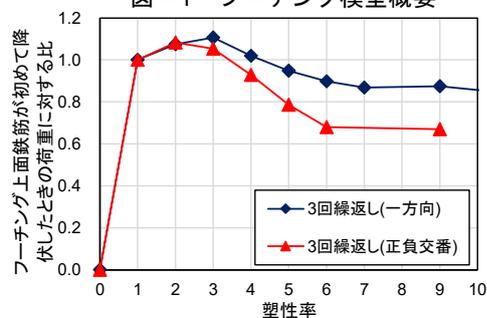


図-2 載荷方法が異なる場合の塑性率

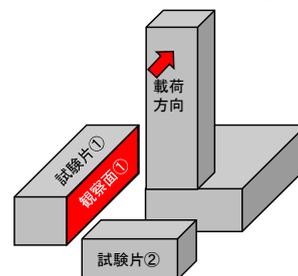


図-3 解体調査による観察面

キーワード：フーチング、破壊性状、解体調査、ひび割れ

連絡先：〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 国立研究開発法人土木研究所構造物メンテナンス研究センター

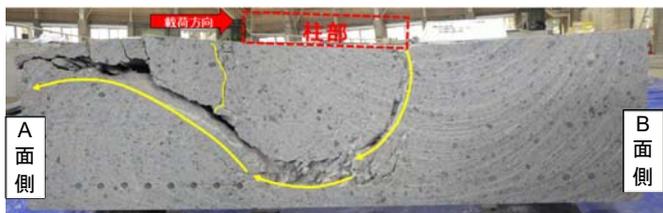


図-4 切断面のひび割れ・剥離状況 (一方向載荷)

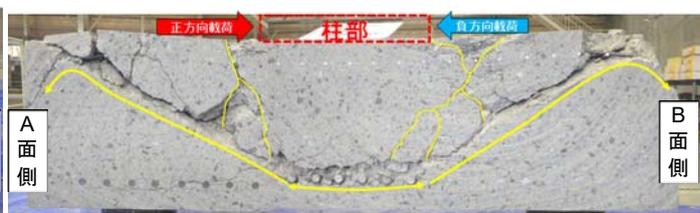
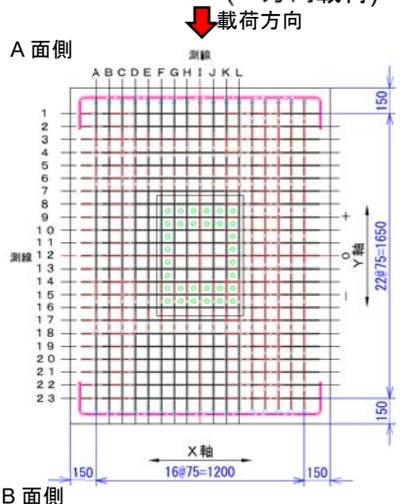


図-5 切断面のひび割れ・剥離状況 (正負交番載荷)



B面側
上面鉄筋の高さ測定位置は上面鉄筋が交差する箇所を測定した。例えば、上図の「G-2」位置は図-7の600の列と225の行が交差する位置を意味し、セル中の数字は鉛直方向の高さを意味する。

図-6 上面鉄筋の高さ測定位置

A面側 一方向載荷(俯瞰)

Y軸 I	X軸	A	B	C	D	E	F	G	H	I
0	150									
1	150					12.3	24.3	34.3	43.3	31.3
2	225			-1.8	3.25	15.3	36.3	51.3	56.3	55.3
3	300	-1.8	2.25	17.3	34.3	52.3	51.3	52.3	53.3	52.4
4	375	6.25	18.3	30.3	43.3	50.3	49.3	48.3	49.3	49.3
5	450	18.3	31.3	40.3	48.3	49.3	49.3	48.3	47.3	48.3
6	525	35.3	40.3	47.3	49.3	49.3	49.3	47.3	46.3	50.3
7	600	46.3	49.3	49.3	49.3	48.3				
8	675	42.3	42.3	43.3	42.3	43.3				
9	750	36.3	36.3	36.3	36.3	36.3				
10	825	29.3	30.3	30.3	34.3	30.3				
11	900	22.3	23.3	23.3	23.3	24.3				
12	975	17.3	18.3	17.3	17.3	18.3				
13	1050	11.3	11.3	11.3	10.3	11.3				
14	1125	6.25	6.25	6.25	5.25	5.25				
15	1200	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25				
16	1275	-3.8	-3.8	-3.8	-3.8	-4.8				
17	1350					-3.8	-2.8	-2.8	-1.8	
18	1425					-3.8	-3.8	-2.8	-1.8	
19	1500					-3.8	-2.8	-2.8	-1.8	
20	1575					-3.8	-2.8	-2.8	-1.8	
21	1650					-2.8	-2.8	-2.8	-1.8	
22	1725					-1.8	-1.8	-2.8	-1.8	
23	1800					0.25	-1.8	-1.8	-0.8	

A面側 正負交番載荷(俯瞰)

Y軸 I	X軸	A	B	C	D	E	F	G	H	I
0	150									
1	150					1.3	6.3	11	11	18
2	225			-8.8	-5.8	-1.8	9.3	24	28	31
3	300	-9.8	-7.8	-4.8	5.3	20	25	27	26	27
4	375	-9.8	-7.8	-2.8	9.3	20	23	23	24	24
5	450	-9.8	-7.8	-0.8	14	17	19	20	21	21
6	525	-8.8	-5.8	3.3	14	15	16	16	18	17
7	600	-3.5	0.5	7.5	8.5	8.5				
8	675	-2.5	7.5	7.5	7.5	7.5				
9	750	4.5	6.5	6.5	6.5	6.5				
10	825	4.5	4.5	5.5	5.5	6.5				
11	900	3.5	3.5	4.5	4.5	6.5				
12	975	3.5	2.5	3.5	3.5	5.5				
13	1050	2.5	2.5	3.5	3.5	5.5				
14	1125	2.5	3.5	3.5	4.5	4.5				
15	1200	3.5	4.5	4.5	5.5	4.5				
16	1275	3.5	6.5	5.5	5.5	4.5				
17	1350	4.5	7.5	7.5	7.5	6.5	6.5	6.5	7.5	6.5
18	1425	6.5	9.5	9.5	9.5	9.5	11	11	11	9.5
19	1500	5.5	11	13	13	13	13	13	13	13
20	1575	3.5	8.5	13	16	16	16	15	16	16
21	1650	1.5	5.5	8.5	16	19	18	18	17	18
22	1725	-0.5	1.5	3.5	6.5	14	16	18	18	18
23	1800	-1.5	-1.5	0.5	1.5	1.5	1.5	4.5	6.5	4.5

図-7 上面鉄筋の鉛直方向変位(mm)(+で浮き上がり) (図中の斜線は未はつりによりデータ無しの部分)

領域で回転が発生し、結果として水平荷重が低下した可能性が考えられる。

フーチング上面鉄筋の高さ方向の測定について、図-6には測定位置の概要を、図-7には一方向載荷および正負交番載荷の測定結果を示す。なお、グレーの箇所はフーチング角部を原点とした場合の相対的な鉄筋位置を意味する。まず、一方向載荷に関しては、A面側で鉄筋の浮き上がりが確認され、X軸E~I、Y軸2~3の位置で最も浮き上がりが大きい。正負交番載荷では、A、B両面の柱幅と同じ範囲で一方向載荷と同様の鉄筋の浮き上がりが確認されたが、X軸A~D、Y軸2~8の範囲では鉄筋の沈下が確認されている。これについて、図-8に試験片②の断面状況を示す。一方向載荷では、フーチング下面鉄筋位置から発生した斜めひび割れがフーチング側面まで到達しており、横方向鉄筋がコンクリートと一緒に押し上げられている状況を確認できる。一方、正負交番載荷の場合、フーチング下面鉄筋位置から発生した斜めひび割れは、柱部から150mm程度離れた位置で横方向鉄筋に沿った水平ひび割れになっていた。フーチング最外縁の鉄筋は鉛直下方向に折り曲げて定着されており、図-9のように変形したことで、沈下が生じたと考えられ、載荷直角方向の損傷領域も変化することを確認した。

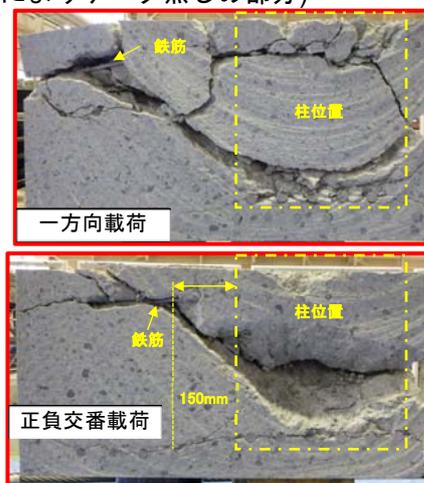


図-8 試験片②の断面 (載荷方向:奥から手前で正方向)

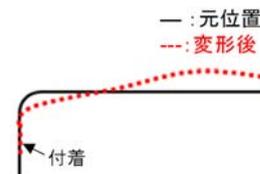


図-9 鉄筋の変形

本検討では、載荷方法がフーチングの損傷状況に与える影響を検討し、正負交番載荷では耐荷メカニズムおよび損傷領域が変化することが示唆された。ただし、フーチングの耐荷特性には杭配置や配筋状況も影響をおよぼす可能性があることから、今後更に検討する必要がある。

参考文献: 江口康平, 有馬俊, 大住道生: 載荷方法が異なるフーチングの耐荷特性に関する実験的検討, 第23回橋梁等の耐震設計シンポジウム講演論文集, pp.251-256, 2021.1.