

## 上面側が主鉄筋となる場合のフーチングのせん断破壊に関する数値解析

土木研究所 正会員 川本 篤志\*  
 土木研究所 正会員 白戸 真大  
 土木研究所 正会員 福井 次郎

### 1. はじめに

兵庫県南部地震以降、設計地震力の増加にともない、道路橋の橋脚フーチングでは、引張力による載荷に対して設計が必要となった。このような載荷状態、すなわちフーチング上面側が主鉄筋となる場合のフーチングのせん断耐力に関して、著者らは実験的検討を行い<sup>1) 2)</sup>、下面側が主鉄筋となる場合に用いる  $L$  (フーチング縁端杭中心から柱前面までの距離) に補正長を加える必要があり、その値として (1) フーチング有効高 ( $d$ ) と (2) 柱幅の半分 ( $t_{cc}/2$ ) としたときに実験結果をよく表した。しかし、実験は限られた形状で行ったものであることから、ここでは一般的な諸元を持ついくつかの橋脚フーチングの二次元非線形解析を行い、(1) (2) のいずれが適用可能かを検討した結果を報告する。

### 2. 構造モデルの諸元

本解析では、一般橋脚の構造諸元を網羅するとともに杭配置 (杭列数) において橋脚フーチングのせん断スパンに影響を与える因子と考えられる柱幅 ( $t_{cc}$ )、有効高 ( $d$ ) をパラメータとして構造モデルを設定した。構造モデルは表 - 1、図 - 1 のとおりである。

### 3. 解析モデル

本解析では、前川等が提案している分散ひびわれ系の構成則<sup>3)</sup>による二次元非線形解析ソフト WCOMD を使用して解析を行った。解析では、ひびわれ後のコンクリートの引張軟化特性がコンクリートの非線形領域の解析上重要となるが、本解析では、文献<sup>1) 2)</sup>の実験結果を解析し、試行錯誤的に引張軟化係数  $C$  を図 - 2 のように設定した。また、実験結果と解析結果を比較した結果、破壊時に圧縮応力が集中する領域が実験で観察された破壊時のひびわれ発生位置、方向に一致することが確認されており、この圧縮応力領域を圧縮ストラットと考えた。

### 4. 解析結果

今回実施した全 17 ケースの解析のうち、代表的な 2 列杭の Case12、4 列杭の Case2、Case4 の結果を紹介する。解析モデル図は図 - 1 のとおりである。この解析モデル図の載荷点に水平荷重を漸増載荷した時に発生するフーチングのひびわれ性状および応力分布は図 - 3、図 - 4 のとおりである。なお、図 - 3 および図 - 4 は、せん断耐力を支配する圧縮ストラット部にせん断ひずみ 1.25% が発生した状態である。

まず、図 - 3 をみると、フーチング内に発生するひびわれは、引張杭結合部の上部からフーチングと柱の接合部下面をとおり柱圧縮縁へ伸びるアーチ (圧縮ストラット) を形成していることが確認できる。また、図 - 4 に圧縮ストラットを破線で示すが、上記のひびわれ位置と一致しており、実験結果をよく再現している。Case2 および Case12 と Case4 を比較すると、Case4 のアーチ下端の水平部が中杭の影響により前方に移動している。これらの結果をもとにせん断スパン  $a$  の設定法について検討した。図 - 4 に示す応力分布をもとに、圧縮応力度がフーチング下面でほぼ水平に流れる部分から柱圧縮部へ向い変化する位置と柱前面位置との距離を  $L$  とし、(1) (2) のうち、せん断スパンの補正長  $L1' = t_{cc}/2$ 、 $L2' = d$  との比 ( $L/L1'$ 、 $L/L2'$ ) を比較した。結果は表 - 2 のとおりである。この結果、 $L/L1'$  のうち比が 1 に近い方と  $\min(L/L1', L/L2')$  はよく一致し、その比はほぼ 1 以下となり、いずれも安全側の評価をしている。そして、 $L/L2'$  は柱式橋脚のような  $d$  に比べて  $t_{cc}$  が小さい場合 (例えば Case4)、 $L/L1'$  は壁式橋脚の橋軸直角方向のような  $t_{cc}$  の大きい場合 (例えば Case2) に適合することが明らかとなった。よって、フーチン

キーワード：杭基礎、フーチング、せん断、せん断スパン、FEM

連絡先 〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地 土木研究所

\* : 交流研究員、在籍期間 (平成 12 年 4 月 ~ 平成 13 年 3 月)

グの上面側が主鉄筋となる場合のフーチングのせん断スパン  $a$  は (3) 式により安全側かつ合理的に設定できる。

$$a = \min(L + d, L + t_{cc}/2) \quad \dots\dots (3)$$

したがって、設計では、上面側が主鉄筋となる場合には、式 (3) をせん断スパンとすることにより、下面側が主鉄筋となる場合と同様にしてせん断耐力を算定することが可能となる。

表 - 1 構造諸元一覧表

試算モデル		全高 H	柱部(m)			フーチング部(m)					杭部			
杭列数 n	Case		柱高 h2	柱幅 t <sub>cc</sub>	奥行き	前趾幅 B1	後趾幅 B2	フーチング高 h1	有効高 d	柱前面～縁端杭中心間距離 L	奥行き	杭径 W(m)	杭長 HP(m)	奥行き杭本数(本)
5	Case1	17.00	14.00	3.00	6.00	5.75	5.75	3.00	2.85	4.55	11.50	1.20	3.60	4
4	Case2	12.00	10.00	4.00	2.00	2.75	2.75	2.00	1.90	1.75	7.00	1.00	3.00	3
	Case3	12.50	10.00	4.00	2.00	2.75	2.75	2.50	2.40	1.75	7.00	1.00	3.00	3
	Case4	12.00	10.00	3.00	2.00	3.25	3.25	2.00	1.90	2.25	7.00	1.00	3.00	3
	Case5	13.00	10.00	7.20	2.00	4.40	2.65	3.00	2.90	2.90	6.75	1.50	4.50	2
	Case6	12.00	10.00	2.00	4.00	2.50	2.50	2.00	1.90	1.50	9.50	1.00	3.00	4
3	Case7	12.50	10.00	2.00	4.00	2.50	2.50	2.50	2.40	1.50	9.50	1.00	3.00	4
	Case8	12.00	10.00	2.50	4.00	2.25	2.25	2.00	1.90	1.25	9.50	1.00	3.00	4
	Case9	12.30	10.00	2.00	4.00	2.50	2.50	2.30	2.20	1.50	9.50	1.00	3.00	4
	Case10	12.80	10.00	2.00	4.00	2.50	2.50	2.80	2.70	1.50	9.50	1.00	3.00	4
	Case11	13.00	10.00	2.00	4.00	2.50	2.50	3.00	2.90	1.50	9.50	1.00	3.00	4
2	Case12	12.00	10.00	2.00	4.00	2.50	2.50	2.00	1.90	1.50	9.50	1.00	3.00	4
	Case13	12.50	10.00	2.00	4.00	2.50	2.50	2.50	2.40	1.50	9.50	1.00	3.00	4
	Case14	12.00	10.00	2.50	4.00	2.25	2.25	2.00	1.90	1.25	9.50	1.00	3.00	4
	Case15	12.30	10.00	2.00	4.00	2.50	2.50	2.30	2.20	1.50	9.50	1.00	3.00	4
	Case16	12.80	10.00	2.00	4.00	2.50	2.50	2.80	2.70	1.50	9.50	1.00	3.00	4
	Case17	13.00	10.00	2.00	4.00	2.50	2.50	3.00	2.90	1.50	9.50	1.00	3.00	4

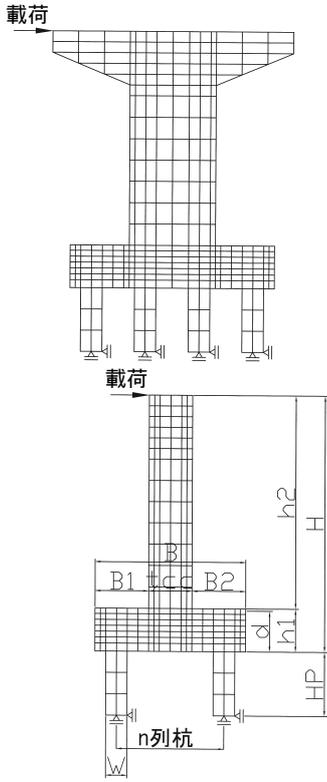


図 - 1 解析モデル図

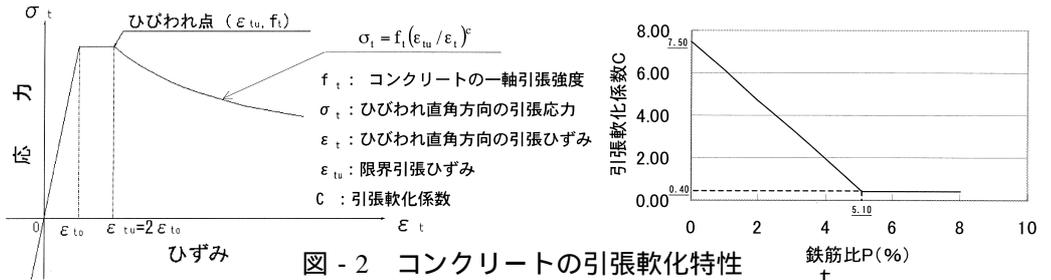


図 - 2 コンクリートの引張軟化特性

表 - 2 せん断スパンの整理

Case	L' (m)	L'/(t <sub>cc</sub> /2)	L'/d	min(t <sub>cc</sub> /2, d)
Case1	0.94	0.63	0.33	t <sub>cc</sub> /2
Case2	1.93	0.97	1.02	d
Case3	1.67	0.84	0.70	t <sub>cc</sub> /2
Case4	1.26	0.84	0.66	t <sub>cc</sub> /2
Case5	2.00	0.56	0.69	d
Case6	0.80	0.80	0.42	t <sub>cc</sub> /2
Case7	0.61	0.61	0.25	t <sub>cc</sub> /2
Case8	0.81	0.65	0.43	t <sub>cc</sub> /2
Case9	0.68	0.68	0.31	t <sub>cc</sub> /2
Case10	0.70	0.70	0.26	t <sub>cc</sub> /2
Case11	0.77	0.77	0.27	t <sub>cc</sub> /2
Case12	0.65	0.65	0.34	t <sub>cc</sub> /2
Case13	0.63	0.63	0.26	t <sub>cc</sub> /2
Case14	1.00	0.80	0.53	t <sub>cc</sub> /2
Case15	0.58	0.58	0.26	t <sub>cc</sub> /2
Case16	0.67	0.67	0.25	t <sub>cc</sub> /2
Case17	0.68	0.68	0.23	t <sub>cc</sub> /2

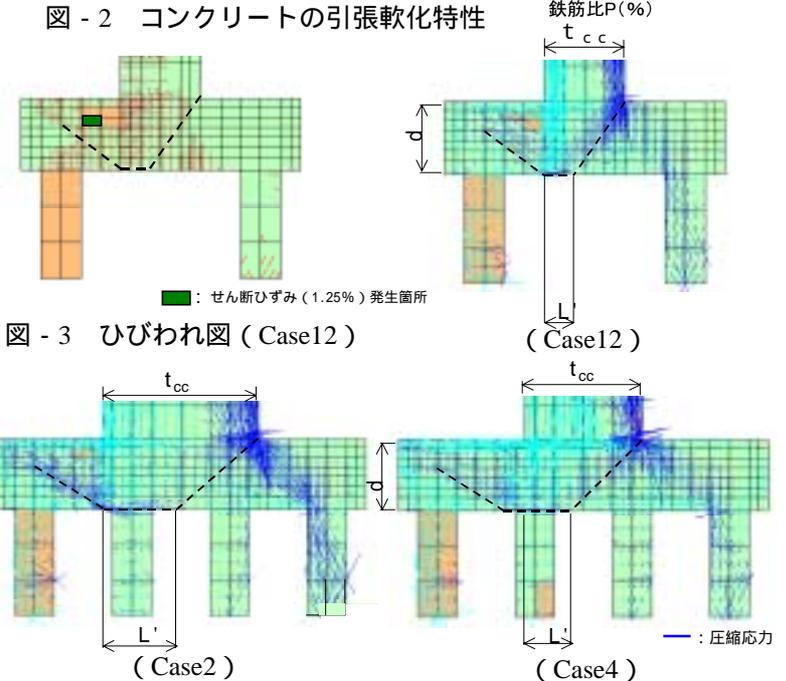


図 - 3 ひびわれ図 (Case12)

(Case12)

(Case2)

図 - 4 応力分布図

(Case4)

参考文献

- 1) 白戸真大, 古荘伸一郎, 福井次郎, 加藤秀章: 引張り力による曲げ・せん断を受けるフーチングの限界状態に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol. 47A, pp. 1315-1325, 2001.
- 2) 土木研究所: 上面側が主鉄筋となる場合のフーチングの耐力算定法に関する実験的研究, 土木研究所資料, 第 3781 号.
- 3) 岡村甫, 前川宏一: 鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則, 技報堂出版, 1997.