

3 次元非線形解析による杭支持された橋脚フーチングのせん断補強効果および耐荷機構の評価

市民工学専攻：山口 瑛慈
指導教員：三木 朋広

1. 研究背景と目的

1995年に発生した兵庫県南部地震以降、それまでよりも大きい地震動を想定するようになったため、フーチングには従来よりも高い耐力が求められるようになった。フーチングの耐力を確保するために、フーチングにせん断補強筋を配置することが考えられる。ただし、フーチングにせん断補強筋を配置した場合の補強効果の有無や、補強効果を得るための適切な配置方法については、十分明らかになっていない。そこで本研究は、杭支持された橋脚フーチングを対象に3次元非線形解析を実施し、3次元的な耐荷機構を評価するとともに、せん断補強効果の有無、ならびにせん断補強効果が効果的に発揮されるための適切な配置方法を検証した。

2. 解析の概要

幸左ら¹⁾が行った、杭支持された橋脚フーチングを対象に解析を実施した。図1に解析対象の供試体寸法および配筋図を、表1にコンクリートの材料諸元、ならびに解析パラメータを示す。コンクリートのひび割れモデルは固定ひび割れモデルを用いており、応力-ひずみ関係には圧縮側に Parabolic 曲線を、引張側に Hordijk の指数軟化曲線を用いている。鉄筋は、埋め込み鉄筋要素によりモデル化を行い、コンクリート要素と埋め込み鉄筋要素の境界は完全付着と仮定した。鉄筋の応力-ひずみ関係は降伏点以降の勾配を0とした完全弾塑性モデルを用いた。鉄筋の降伏強度が 350N/mm^2 で、弾性係数が 200000N/mm^2 である。表2に解析ケースを示す。

3. 解析結果と考察

図2に示すように、 ρ_w が大きくなるほど最大荷重が増加している。最大荷重時においてせん断補強筋に生じた引張力の総和は、 ρ_w が0.21%、0.88%、1.99%のそれぞれで979 kN、2435 kN、3537 kNであり、 ρ_w が大きいほど、せん断補強筋に生じる引張力の総和が大きくなっている。つまり、解析において ρ_w が大きくなるほど耐力が大きくなったのは、 ρ_w の増大に伴いせん断補強筋に生じる引張力の総和が大きくなったためであると考えられる。また既往の研究^{2),3)}では、

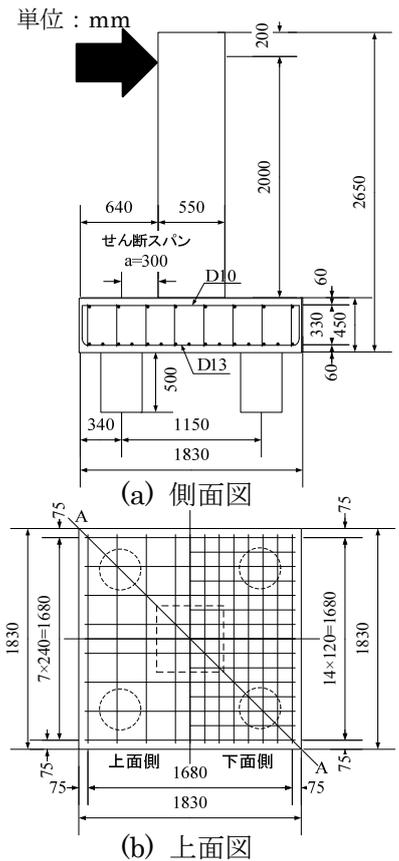


図1 供試体寸法と配筋図

表2 解析ケース

No	せん断補強鉄筋比 ρ_w (%)	配置間隔 (mm)	鉄筋径	鉄筋数	最大荷重 (kN)
1	0.00	-	-	0	341.5
2	0.04	240	D6	36	346.5
3	0.12		D10		354.5
4	0.21		D13		362.9
5	0.21		D6		124
6	0.50	120	D10	124	369.4
7	0.50		D10	60	364.1
8	0.88		D13	124	375.7
9	1.38		D16	124	380.7
10	1.99		D19	124	384.2
11	1.99		D19	60	373.5

表1 コンクリートの材料諸元・解析パラメータ

物性値・解析パラメータ	柱	フーチング杭
圧縮強度 $f_c(\text{N/mm}^2)$	28.6	25.8
引張強度 $f_t(\text{N/mm}^2)$	2.15	1.67
弾性係数 $E_c(\text{N/mm}^2)$	28600	25800
引張破壊エネルギー $G_F(\text{N/mm})$	0.1	
圧縮破壊エネルギー $G_{Fc}(\text{N/mm})$	47.1	44.7
ひび割れ帯幅 $h(\text{mm})$	$V^{1/3}$ (V: 要素体積)	

キーワード フーチング、せん断補強筋、タイドアーチ機構、せん断耐力、FEM

ρ_w が0.10%の前後と比較的小さい値の時に、せん断補強筋を有する供試体の方が、無補強の供試体よりも耐力が小さくなっていた。しかし本研究においては、大きな耐力の上昇はなかったものの、 ρ_w が0.10%前後と小さい値の時でも、耐力が低下するようなことは再現できなかった。

図3は ρ_w が0.88%の場合の、最大荷重時に各せん断補強筋に生じた引張応力を示している。図3より载荷側と柱周辺のせん断補強筋において、せん断補強筋の降伏応力、もしくはそれに近い応力が発生していることがわかる。よって、载荷側と柱周辺のせん断補強筋が、フーチングの耐力の上昇に大きく影響するといえる。

図4は ρ_w が0%の場合の、最大荷重においてフーチング上面とAA断面で生じた最大主ひずみを示したものであり、フーチングの損傷状況を表している。この図より、フーチングの载荷側と柱周辺、つまりせん断スパン内に損傷が集中していることがわかる。以上より、柱に水平力が作用する場合の橋脚フーチングの損傷がせん断スパン内に集中するため、この損傷集中箇所にせん断補強筋を配置することが耐力上昇に貢献することがわかった。つまり、損傷が集中することが想定されるせん断スパン内にせん断補強筋を配置すると、せん断スパンの外側のせん断補強筋を配置しなくてもフーチングの耐力は大きく低下しないものと考えられる。

そこで、図4の破線内にもせん断補強筋を配置した場合と、破線外にもせん断補強筋を配置した場合の解析を実施し、それぞれの耐力、変形性能を比較する。図5は、せん断補強筋をせん断スパン内のみ配置した場合と、せん断スパン外にも一様に配置した場合の荷重-変位関係である。図5より、せん断補強筋をせん断スパン内・外に配置した場合、いずれの荷重-変位関係にも大きな違いはない。これより、フーチングの耐力に大きく貢献するのは、せん断スパン内のせん断補強筋であり、せん断スパン外のせん断補強筋を取り除いても著しい耐力低下や変形性能の低下は生じないといえる。

4. まとめ

杭支持された橋脚フーチングの耐力に大きな影響を及ぼす要因は、せん断スパン内のせん断補強筋であり、そこにせん断補強筋が適切に配置されているとフーチングの耐力は上昇する。また、せん断補強筋比が大きくなると、せん断補強筋に生じる引張力の総和が大きくなり、フーチングの耐力が上昇する。さらに、せん断スパン外にせん断補強筋を配置していない場合、耐力や変形性能は低下しないことがわかった。

参考文献

- 幸左賢二, 安藤高士, 白戸真大, 水田和之: 地震時における柱・フーチング接合部の損傷メカニズムに関する研究, 土木学会論文集, No.746/V-61, pp.41-55, 2003.11.
- 石橋忠良, 松田好史, 齊藤啓一: 少数本のくいを用いたフーチングのせん断設計について, 土木学会論文集, 第337号, pp.197-204, 1983.9.
- 白戸真大, 古荘伸一郎, 福井次郎, 加藤秀章: 引張力による曲げ・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, 構造工學論文集, Vol.47A, pp.1327-1338, 2001.3.

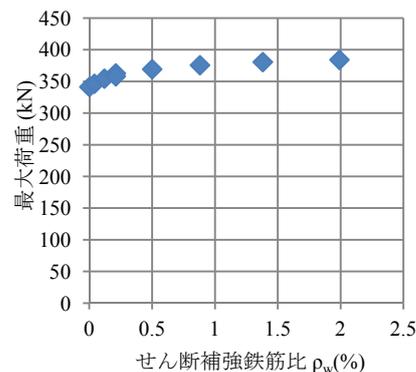


図2 ρ_w と最大荷重の関係

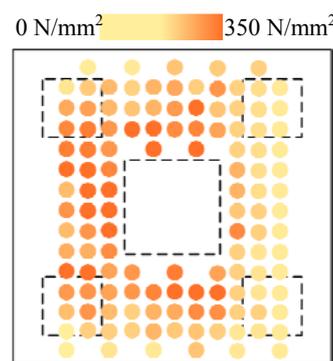


図3 せん断補強筋に生じる引張応力

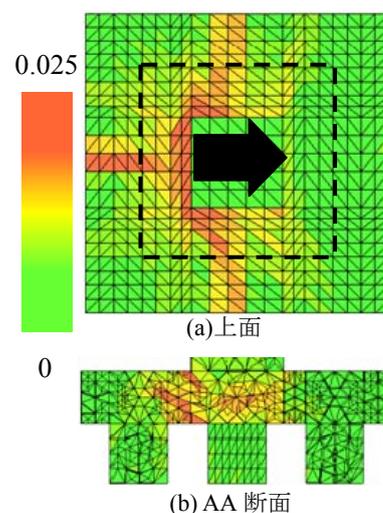


図4 最大主ひずみ分布

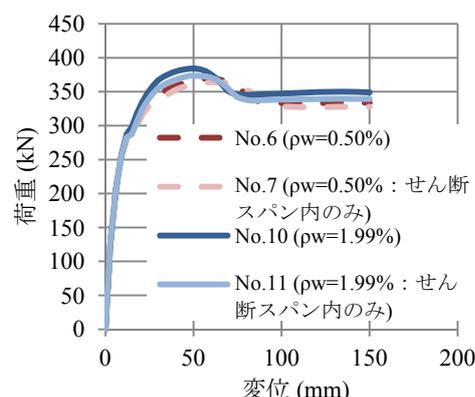


図5 荷重-変位関係