

フーチング基礎の耐震性能検討と補強事例

幸左賢二¹・吉原聡²・白戸真大³・中越亮太⁴

正会員 Ph. D. 九州工業大学 建設社会工学科 (〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1)

正会員 阪神高速道路公団 保全施設部 (〒504-0056 大阪市中央区久太郎町4-1-3)

正会員 (独) 土木研究所 構造グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

正会員 九州工業大学大学院 (〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1)

兵庫県南部地震において、フーチング上面に放射線状に発生したひび割れが縁端に伸びた損傷フーチングが数基発見された。道路橋示方書による照査が実施されたが、その明確な損傷原因は見い出せなかった。そこで、損傷フーチングをプロトタイプとした1/2スケールの橋脚・フーチング・杭を一体化した単調載荷実験を実施した。その結果、フーチングは上面より生じる放射状のひび割れが終局挙動を支配し、通常の曲げおよびせん断損傷とは異なる損傷モードであることが明らかとなった。

Key Words: footing, failure mechanism, earthquake load, retrofit

1. まえがき

兵庫県南部地震による橋梁被害の特徴のひとつとして基礎構造、特にフーチングの損傷が比較的軽微であったことが上げられる。例えば、阪神高速道路3号神戸線の詳細調査においてはRC橋脚では100基近くのAランク損傷が発生したが、フーチングでは、損傷度の高いA, Bランクのものはなく、比較的軽微なCランク程度の損傷が数基発生したのみであった。

以上のことから、旧基準で設計されたフーチングは橋脚よりも相対的に耐力が大きいと考えられるが、フーチングは複雑な形状となっていることもあって、実橋レベルのフーチングの載荷実験も極めて少なく、現状では地震時の終局挙動については不明確な点が多い。

本文では、まず兵庫県南部地震において損傷したフーチングの被害概要、設計基準による照査結果および補強方法について示す。ついで、損傷原因を評価するために実施した損傷フーチングをプロトタイプとした実験結果について報告する。

2. フーチング損傷状況

損傷フーチングの構造図を図-1に示す。本橋脚は、橋脚高さ4.6m、直径1.8mの円形断面であり、基礎構造は直径1.0mの場所打ち杭である。柱に作用する死荷重は、上部工反力と橋脚の梁自重を加えて約

400tfであった。柱・フーチング・杭のコンクリート設計基準強度は240kgf/cm²となっており、鉄筋材質はSD345相当のものが使用されていた。

損傷状況は図-2に示すようにフーチング上面ひび割れのうち数本は柱基部より放射線状にフーチング縁端に伸びていた(平均ひび割れ幅7mm)。また、フーチング側面では上面より発生したひび割れがフーチング厚の下面より1/2の範囲まで進行しており、上面鉄筋の一部は降伏していると推定されるものの残留変形が認められなかったため、Cランクと判定した。なお、柱部およびフーチング下面には顕著なひび割れは認められなかった。

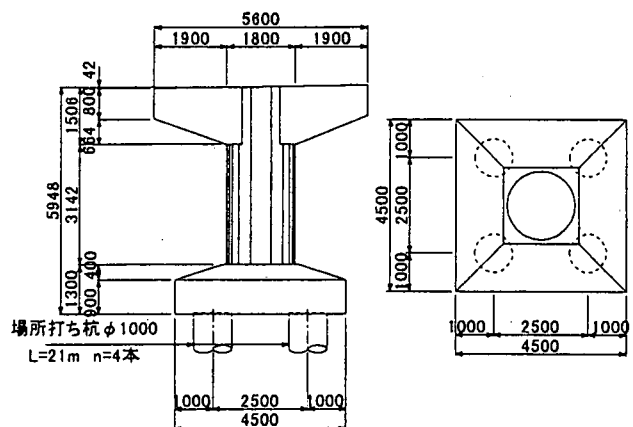


図-1 対象構造一般図

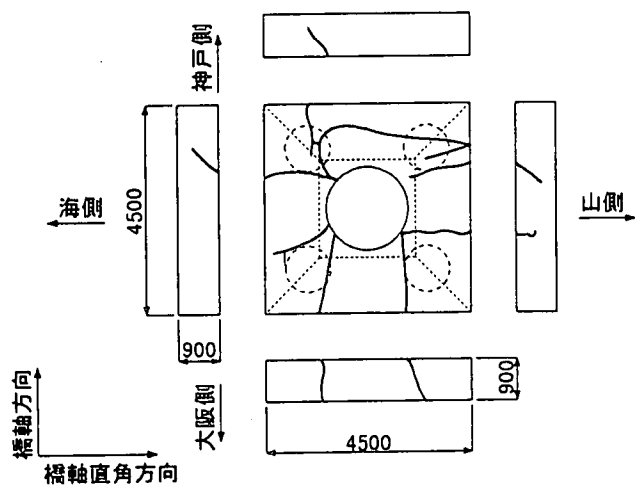


図-2 フーチング損傷状況

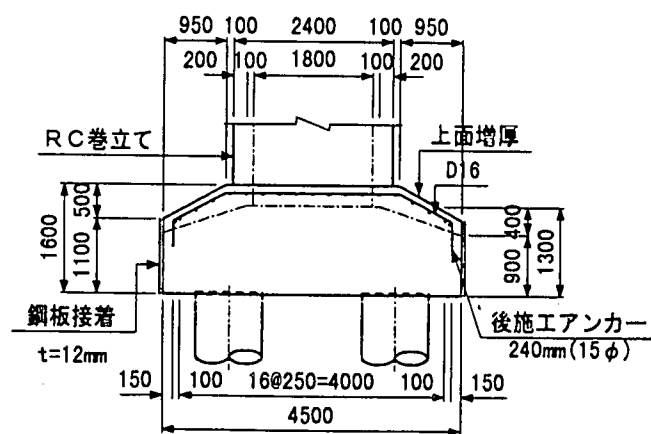


図-3 補強一般図

3. 道路橋示方書による照査

平成8年版道路橋示方書に基づき保有水平耐力照査を行った。道示では a/d が0.5以下で照査不要であるが、ここでは0.5とみなした。照査の結果曲げに対しては作用力が474tfに対して抵抗力が230tf、せん断に対しては作用力が895tfに対して抵抗力が605tfとなり、曲げおよびせん断耐力が不足している結果となるが、旧フーチング断面は新道示では外力が増加したこともあり、一般的に耐力不足となる。また、ひび割れがフーチング上面より放射状に進展しており、通常の曲げおよびせん断損傷タイプとは異なると考えられる。

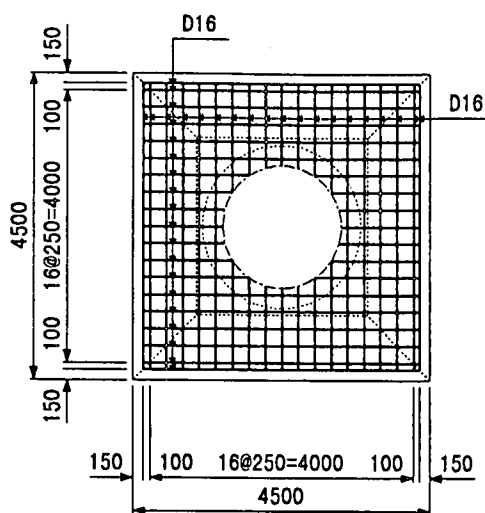
以上より8年度版道示レベルからは曲げおよびせん断耐力が不足しているという結果は得られたものの、フーチング上面よりのひび割れ発生原因は特定できなかった。

4. 補修・補強方法

応力照査の結果、被災後のフーチング下側鉄筋が降伏応力を超過する可能性があるため、フーチングの補強を行うこととした。補強方法については、以下の理由によりフーチング上面増厚による方法を採用した。

- ①再構築の場合、上部工を仮受けする必要があるが、上部工がPC桁のため、フーチング構造物掘削範囲外でのサポート位置が確保できず、上部工の仮撤去が必要である。
- ②地盤改良は経済性に劣る。また、杭の損傷は認められず、フーチングのみの補修・補強で良い。
- ③上面増厚は施工実績も多く、フーチングの剛性を向上させるもっとも経済的な工法である。

図-3に補強図を示すが、ひび割れ補修および増



厚コンクリートの新旧一体化をより確実にするため、フーチング側面には鋼板接着を併用した。施工手順を以下に示す。

- ①ひび割れ補修としてセメント系注入材をひび割れ部に無圧入充填した。
- ②フーチング上面に後施工アンカーD16を15φ埋め込み、これに結束する形で上面鉄筋を組み立てた。
- ③先付けしておいた12mmの鋼板を型枠変わりにしてコンクリート打設を行い、硬化養生後、鋼板にエポキシ樹脂注入を行って、一体化を図った。

5. プロトタイプ試験体による実験

1) 実験結果概要

損傷に至る過程および終局耐力を明確にするために図-4に示すような1/2スケールの断面形状の橋脚・フーチング・杭を一体とした試験体を用いた载荷

試験を実施した。図-5にひび割れ進展状況模式図、図-6に荷重-変位関係を示す。実験概要を以下にまとめる。

① 載荷荷重58tfで柱フーチング接合部隅角付近に発生したひび割れが、フーチング上面から側面に進展した。その後、荷重106tf、変位 $2.2\delta y$ で最大荷重に達したが、ひび割れが三方向にほぼ貫通するとともに、上面鉄筋もほぼ全面に渡り降伏ひずみに達した。

② 上記試験体は最大荷重に達した後、荷重が徐々に減少し、 $7\delta y$ で降伏荷重に低下したが、じん性率7程度の変形性能に富んだ損傷となった。このように変形性能に富んだ要因としては、フーチング内の柱主鉄筋や上下面の鉄筋がひび割れの進展を拘束し、徐々にひび割れが進展していくためと考えられる。

2) 最大荷重付近の損傷モードに関する考察

フーチングのひび割れ発生から最大荷重に至る損傷形態について考察する。図-7に載荷荷重83tf(フーチング上面鉄筋降伏時)および載荷荷重106tf(最大荷重時)の損傷状況図を示す。図-7からも分かるように、荷重83tf付近では柱・フーチング接合部上面から発生したひび割れは、ひび割れ進展を上面鉄筋により制御されていたが、上面鉄筋が降伏応力に達することにより徐々に抵抗力が減少し上面のひび割れ幅が増加するとともに、ひび割れが側面に進展してゆくことが分かる。このとき、ひび割れは主として上面部分だけであるので、フーチングは剛体に近い挙動をしている。

次に載荷荷重、106tfの最大荷重付近では、ひび割れは側面3方向にほぼ貫通するとともに、上面鉄筋もほぼ全幅に渡って降伏ひずみに達している。この状態では柱とフーチングの一体性はほとんどなくなっており、フーチングも剛体挙動を示さなくなっている。このため、抵抗荷重は増加せず徐々に減少し、変形のみが増加する傾向となる。このタイプの損傷においては、側面方向へのひび割れの進展に伴いフーチング内の杭の主鉄筋や下面鉄筋の抵抗やコンクリートの噛み合わせ効果によりひび割れの進展が抑制されることにより急激な破壊または荷重の低下は生じず、本実験でもじん性率的には7程度を有する変形性能に富んだ破壊性状を示した。なお、最終破壊状況は図-7に示すように最大荷重以降 $6\delta y$ 付近から上面コンクリートが浮き上がるようなコーン形状の破壊面が確認された。

3) 実験結果と設計値との比較

表-1にフーチング部材に着目した設計値と実験値の比較を示す。設計水平震度0.25が作用した状態における水平荷重はフーチング下面で45tf、フーチング上面で48tfとなり、降伏モーメントに達する水

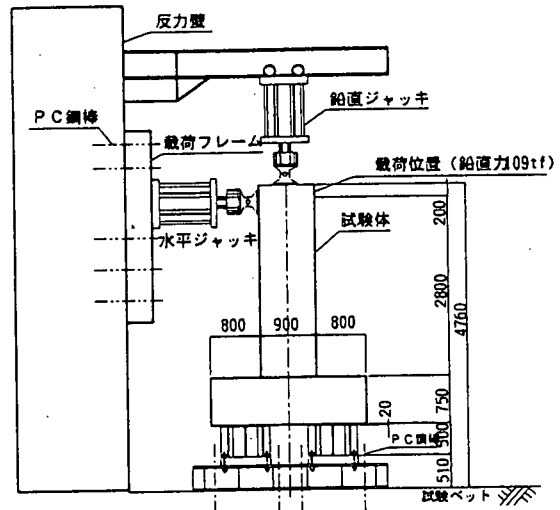


図-4 試験体形状

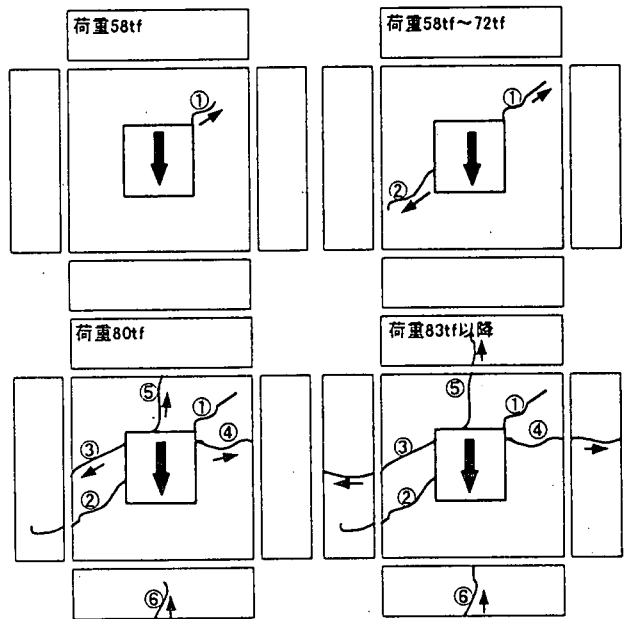


図-5 ひび割れ進展状況

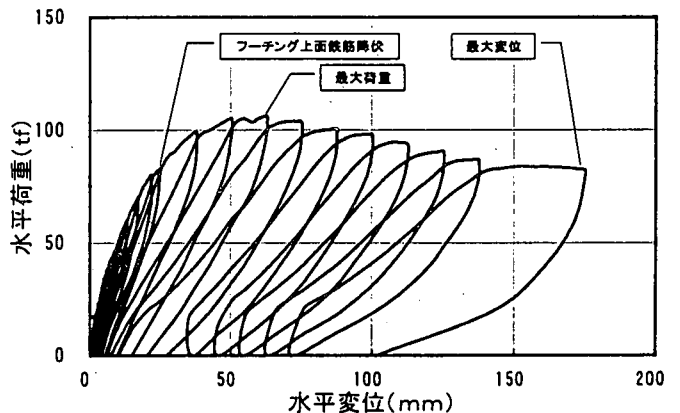


図-6 荷重-変位関係

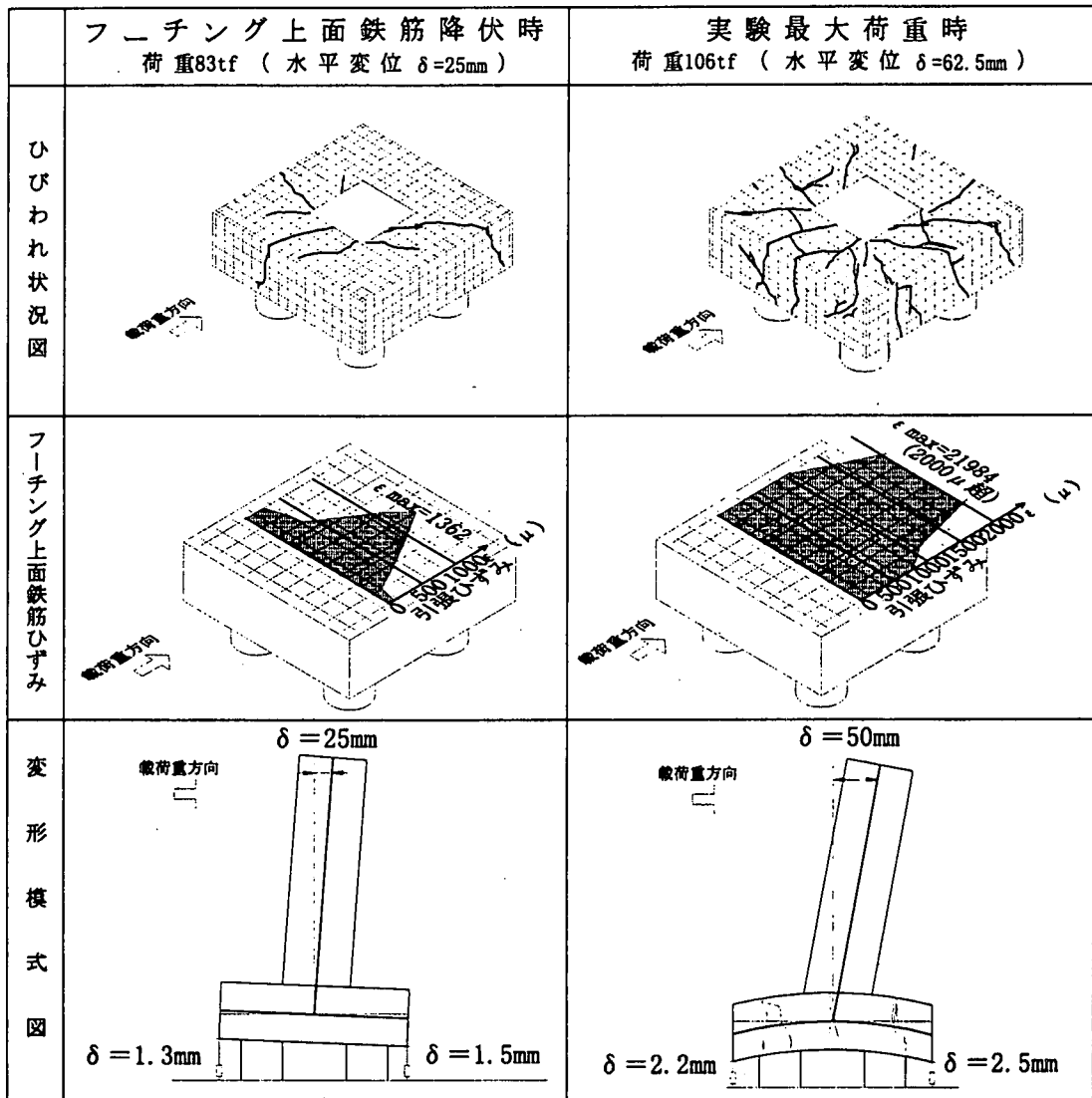


図-7 主要荷重点における損傷状況

平荷重は、フーチング下面で54tf、フーチング上面で51tfとなる。実験によるフーチング下面および上面鉄筋降伏時はそれぞれ106tfおよび83tfとなり、鉄筋降伏時の実験値と設計値を比較すると、フーチング下面で2.0倍、フーチング上面で1.6倍の余剰耐力を有していることになる。また、上面の最大荷重に比較するとフーチング上面では設計値に対して2.0倍の余裕を持っている。以上のように、震度法レベルで設計されたフーチングは、2.0倍程度のかかなり大きな余剰耐力を有している結果となっており、このことが兵庫県南部地震でもフーチングは比較的被害が少なかった一因とも考えられる。

6. まとめ

損傷フーチングを対象とした検討結果をまとめる。

①フーチング上面にひび割れが放射状に伸びたフーチングが発見され、道路橋示方書による照査が実施されたが、明確な原因は見いだせなかった。

表-1 実験結果と設計値の比較

		設計値 P _d	実験値 P	P/P _d
フーチング下面	抵抗モーメント	45tf		
	降伏モーメント	54tf	106tf	2.0
	終局モーメント	57tf		
フーチング上面	抵抗モーメント	48tf		
	降伏モーメント	51tf	83tf	1.6
	終局モーメント	52tf		
フーチングせん断耐力(押込み)		62tf	-	
フーチングせん断耐力(引抜き)		12tf	-	

②1/2スケールの試験体では、柱フーチング接合部に発生したひび割れが、フーチング上面から側面に進展し、ほぼ実構造物の同様のひび割れが発生した。

③荷重106tf、変位2.2 δ_y で最大荷重に達した後、荷重が徐々に減少し、変位7 δ_y で降伏荷重程度に低下したが、比較的変形性能に富んだ損傷であった。

参考文献

1) 幸左賢二, 藤井康男, 水田崇志, 森田修二: 地震時のフーチング損傷メカニズムに関する研究, 土木学会論文集 No. 655/V-48, pp. 63-73, 2000. 8.