

マンホール部を有する鋼製橋脚の変形特性

九州工大 学生員○久保知徳 正会員 山口栄輝
正会員 幸左賢二 学生員 仰木芽久美

1. はじめに

1995 年の兵庫県南部地震により、阪神高速道路 3 号神戸線の橋脚は甚大な被害を被り、鋼製橋脚にも多くの損傷が認められた。橋脚の座屈損傷が発生した 54 基のうち 23 基 (43%) についてはマンホール部を有する補剛板付近に損傷が見受けられたため¹⁾、マンホール部が耐震上の弱点となっている可能性がある。そこで、マンホール部に着目した損傷の特徴を把握するため、FEM 解析を実施し、マンホール部損傷の特徴について考察した。

2. 解析对象

マンホール部に損傷を受けた神 P74 橋脚を取り上げる。神 P74 橋脚の概略を図-1 (a) に示している。これは T 型支柱ラーメン橋脚であり、鋼製柱の断面諸元を図-1 (b) に示している。図中、フランジはマンホールを有する補剛板およびそれと平行に位置する補剛板、ウェブは残りの補剛板を表している。この鋼製柱は、上部(断面Ⅰ)と下部(断面Ⅱ)で板厚が異なり、変断面構造となっている。また、マンホール部の周囲は、橋脚の内側に幅 80mm、厚さ 22mm の板を張ることによってダブリング補強されている。

兵庫県南部地震における神 P74 橋脚の損傷状況を図-2に示す。複数の補剛板で座屈が生じているが、マンホール部で最も大きな面外変形が観察されている。

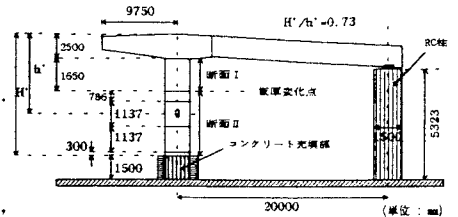
3. 解析方法

図-2の損傷状況や本橋脚の橋軸方向と橋軸直角方向の剛性差を考えると、この橋脚は橋軸方向に大きく変位し、座屈が生じたと推定される。橋軸方向についてはラーメン構造としての特性はあまり発揮されないことから、図-3のように鋼製柱を単柱形式とした橋脚モデルで解析を行う。

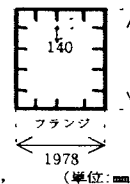
載荷条件は、先にT型支柱ラーメン橋脚全体系モデルによる解析を行い、上部工重量やラーメン橋脚梁部の重量によって鋼製柱上端に作用する軸力 $P=8.65 \times 10^6 \text{ N}$ 、橋軸回りの曲げモーメント $M=3.84 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$ を算出し、初期荷重として作用させ、橋軸（Y 軸）方向の水平変位を制御し、水平方向に載荷する。境界条件は、コンクリート充填上面を固定端とした。

解析には、汎用有限要素解析プログラム ABAQUS を用い、幾何学的非線形と材料非線形の両方を考慮した複合非線形解析を行う。弾塑性構成則には三曲面モデル²⁾を用いる。

図-4(a)のようにマンホール周囲の補強部では補剛板パネル一般部の中立面とダブリング補強された箇所の中立面は一致せず、補強部外周縁において不連続に変化する。シェル理論では、一般に、シェル状の物体をその中



(a) 概略



	板厚(mm)	
	断面Ⅰ	断面Ⅱ
フランジ	36	22
ウェブ	22	22
縦補剛材	12	12

(b) 鋼製柱の断面

圖-1 橋腳形狀

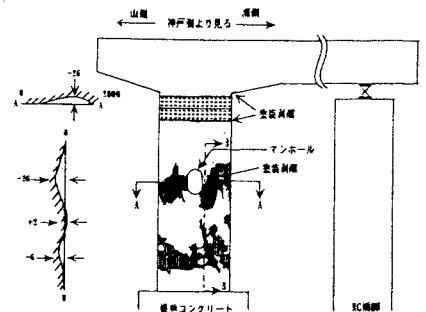


図-2 損傷状況

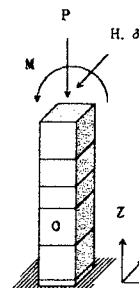


図-3 鋼製柱モデル

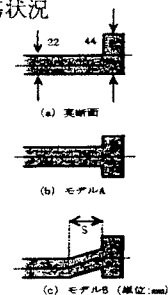


図-4 補強部のモデル化

立面で代表させるため、このような場合には、そのモデル化において何らかの工夫が必要となる。この点に関する最も簡単な対処法は、図-4(b)のように補強部の中立面を移動させて、中立面の不連続性をなくしたモデルを採用することである。また、図-4(c)のように中立面を徐々に変化させることで、中立面の不連続性に対処することも考えられる。前者をモデル A、後者をモデル B と定義する。図-4(c)の S は中立面の傾斜部であり、本来、大きさを持たないため、S の大きさが解析結果に及ぼす影響にも注意する必要がある。そこで、S の大きさに 55, 27.5, 11, 5.5mm を仮定し 4 ケースの解析を行い、検討を加える (S の大きな方から B-1, B-2, B-3, B-4 と呼称する)。

図-5 に示すように、鋼製柱の断面 II の区間はシェル要素 (10276 個)、残りの区間は梁要素 13 個で要素分割し、柱と梁の交差部 (隅角部) の区間は剛とした。

4. 解析結果と考察

図-6 に載荷点での水平荷重 H - 水平変位 δ 曲線を描いている。この解析結果を見ると、モデル A とモデル B 間に明確な差が認められる。モデル B で S の大きさによる差はごくわずかであり、S を 5.5mm (モデル B-4) より小さくする必要は特にないと判断される。そのため、以下では、モデル B-4 の解析結果をモデル B の結果として記す。モデル A とモデル B の違いを変形モードの点から検討するため、図-7 にモデル A とモデル B で得られた鋼製柱の変形図 (x 軸の正方向への投影図) を示している。最大耐力力点付近である $\delta = 95\text{mm}$ において、モデル A では橋脚下部の変形が大きいのにに対し、モデル B ではマンホール部での面外変形が大きく、変形モードの異なることが理解される。強度劣化域においては、両モデルともに、徐々に橋脚下部での面外変形が大きくなり、同じような変形モードを示すようになった。以上の結果から、橋脚下部の面外変形が耐力力低下と深く関連していることがわかる。また、マンホール近傍で面外変形が生じると、橋脚下部の面外変形が緩和されており、マンホールを有する補剛板パネルは橋脚下部の局部座屈への移行を遅らせていると考えられる。

モデル B で $\delta = 100\text{mm}$ まで載荷した後、水平荷重を完全に取り除き、残留変位を調べた。この時の変形状態を図-8 に示しているが、マンホール部には最大面外変位 25mm が見られる。この変形状態を兵庫県南部地震後に観察された被災状況 (図-2) と比較すると、変形モードのみならず、面外変位もよく一致している。これは、兵庫県南部地震時に、神 P74 橋脚は最大耐力力に達する程度の変形状態に至ったことを示唆するものである。なお、モデル A では異なった変形モードとなるため、兵庫県南部地震時の被災状況を再現することはできなかった。

参考文献

- 1) 秦健作, 水谷治弘, 幸左賢二, 才村幸生, 劉銘崇: 兵庫県南部地震における鋼製橋脚の損傷と座屈パラメータの関係について, 第 55 回土木学会学術講演会概要集 I, 2000.
- 2) 後藤芳顯, 王慶雲, 高橋宣男, 小畑誠: 繰り返し荷重下の鋼製橋脚の有限要素法による解析と材料構成則, 土木学会論文集, No. 591/I-43, pp189-206, 1998.

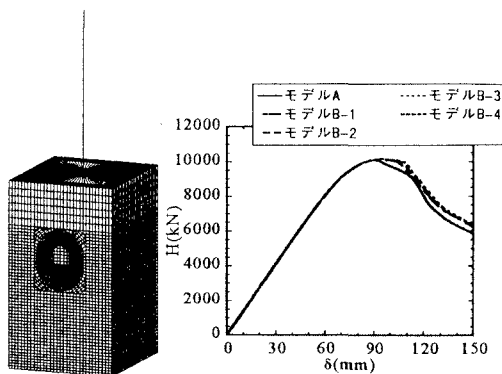
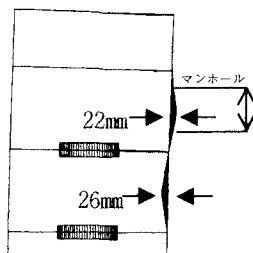
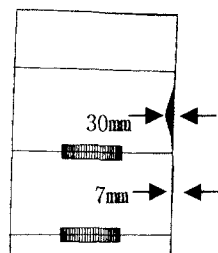


図-5 要素分割 図-6 水平荷重-水平変位関係



(a) モデル A ($\delta = 95\text{mm}$)
(変形倍率 4 倍)



(b) モデル B ($\delta = 95\text{mm}$)
(変形倍率 4 倍)

図-7 変形図

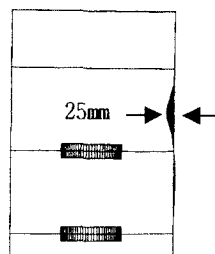


図-8 残留変形
(モデル B 変形倍率 4 倍)