

大阪市立大学工学部 正員 中井 博
(株)建設企画コンサルタント 黒田修一

大阪市立大学工学部 正員 中西克佳
大阪市立大学工学部 学生員○津丸徳宏

1. まえがき 本研究は、合成橋脚柱の耐震性に関する照査法の1つである弾塑性地震応答解析手法を合成橋脚柱に対しても適合できるようにするため、過去に実施した合成柱のハイブリッド実験による地震応答シミュレーション結果と解析結果とを比較する。これによって、合成橋脚柱の断面に発生する曲げモーメントと曲率との関係を非線形履歴ループとしてモデル化する。そして、それを用いて、実存する合成橋脚柱の弾塑性地震応答解析を行った結果から、今後の耐震設計に関して検討したものである。

2. 弾塑性地震応答解析を合成柱に適合させるための対象橋脚柱の概要

対象橋脚柱として、コンクリート充填高さ $L_c=L/4$ と $L_c=L/3$ 、および補剛板パネルの幅厚比パラメータ $R=0.70$ と $R=0.34$ との4種類の弾塑性地震応答解析を行った。

3. 弾塑性地震応答解析方法 弾塑性地震応答解析には、汎用3次元非線形動的プログラム TDAPⅢを用いた。そして、解析モデルは、2.で述べた対象橋脚柱を図-1に示す有限要素の集合体とした多質点系モデルとみなした。また、材料非線形モデルは、鋼断面部と合成断面部とに分けて考えた。すなわち、鋼断面部ではバイリニア型復元力モデルを、また合成断面部ではコンクリート構造物で用いられる武田型モデルとした。なお、地震波としては、兵庫県南部地震時に神戸海洋気象台で観測された南北方向の地震加速度(最大地震加速度 812.02gal)を用いた。

4. 曲げモーメントと曲率との関係の検討 解析結果とハイブリッド実験による地震応答シミュレーション結果とを比較した $L_c=L/4$ で $R=0.70$ の対象橋脚柱の水平変位の時刻歴応答のを、図-2に示す。ちなみに、解析値は、終局時の曲率を静的荷重実験より決定したもので、終局時の曲率 $\phi_u=5\phi_y$ とみなして、武田型モデルの曲げモーメントと曲率との関係を用いたものであり、実験値とほぼ一致していることがわかる。

5. 実橋脚柱を対象とした弾塑性地震応答解析

実橋脚柱としては、図-3に示すわが国で初めて建設された(阪神高速道路11号大阪池田線)橋脚柱を用いた。なお、この橋脚柱は、全断面にコンクリートが充填されている。そのため、材料非線形モデルとしては、終局時の曲率 $\phi_u=5\phi_y$ の武田型モデルのみを用いた。また、地震波としては、3.と同様に、神戸海洋気象台で観測された南北方向の地震加速度を用いた。

図-4には、この解析により発生した最大曲げモーメントと断面の降伏、および終局曲げモーメントとの関係を示す。同図によると、この橋脚柱は、

曲げによって、断面①に損傷を受けることがわかる。また、弾塑性地震応答解析によって発生した最大曲げモーメントは、断面②より下方において、ほとんど変化していないことがわかる。これは、断面③が短く、解析モデルが多質点系であるためと考えられる。さらに、発生した最大曲げモーメントは、ほと

Hiroshi NAKAI, Katsuyoshi NAKANISHI, Syuichi KURODA, and Tokuhiko TSUMARU

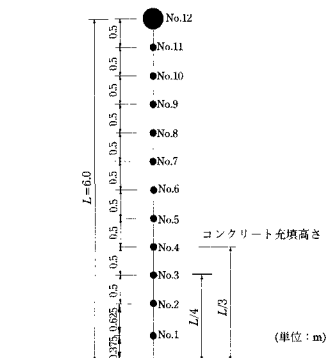


図-1 多質点系の解析モデル

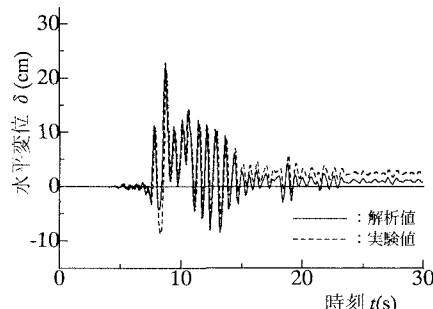


図-2 水平変位の時刻歴応答

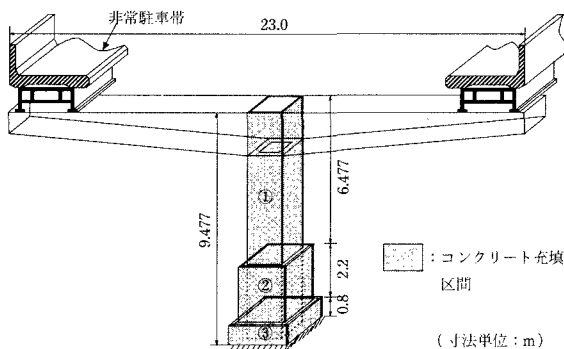


図-3 阪神高速道路11号大阪池田線の橋脚概要

んどが各断面の降伏曲げモーメントを下回っている。しかし、断面①と②との変断面部においては、発生した最大曲げモーメントが降伏曲げモーメントを上回っていることがわかる。そこで、文献 2)を参照して、各変断面部、および基部の終局限界状態の照査式を用い、以下の照査を行ってみた。すなわち、中心軸圧縮力と曲げモーメントとを同時に受ける合成柱部材の照査式は、次式で示され、この照査結果をまとめたものが表-5 である。

$$\frac{M_p}{M_{uv}(1 - P_v / P_{cr})} \cdot \frac{1}{\psi} \leq 1 \quad \dots\dots\dots(1)$$

同表によると、断面①と②との変断面部においては、上式の左辺の値が最も大きくなっているものの、安全性を満たしており、兵庫県南部地震のような地震動がこの橋脚柱に加わっても十分に耐え得ることがわかる。

6. 今後の耐震設計に関する考え方 弾塑性地震応答解析を行えば、ある程度正確に合成柱の地震時の挙動を知ることができる。そして、この結果を終局限界状態の照査式を用いて応力照査を行えば、その地震時の安全性をある程度正確に判断することができる。しかしながら、弾塑性地震応答解析では、ある 1 つの特定の地震動に対する安全性しか判断できない。ところが、実際には、どのような地震が起こるかわからないので、弾塑性地震応答解析がどのような意義を持つのかどうしても疑問が残る。そして、結局のところ、ある 1 つの特定の地震に対する最大水平変位と残留変位、および、その地震で崩壊するか否かの判断しかできない。

一方、耐震設計の際に用いる地震時保有水平耐力法による応力照査が、挙げられる。この照査結果を、表-6 に示す。これによると、道路橋示方書・耐震設計編による応力照査では、基準を満たしていない。しかし、鋼構造物の設計指針の参考資料による応力照査では、基準を満たしている。これは、応力照査を行うための安全係数 α 、および設計水平震度 k_{hc} が異なっているためである。ちなみに、道路橋示方書・耐震設計編で定義されたタイプⅡの地震動での $k_{he}W$ の値による曲げモーメントは、断面①、および②の終局曲げモーメントを上回っている。ところが、図-4 中の ii) の線で示した鋼構造物の設計指針の参考資料における $k_{he}W$ の値に相当する曲げモーメントは、各断面の終局曲げモーメント、および弾塑性地震応答解析により発生した曲げモーメントをも下回っている。ここで、表-5 の弾塑性地震応答解析の応力照査結果によると、この橋脚柱は、兵庫県南部地震に耐え得ると言える。ちなみに、安全係数 α 、および設計水平震度 k_{hc} の値が、道路橋示方書・耐震設計編においては厳しすぎる。しかし、鋼構造物設計指針 3) の参考資料では、ある程度正確な判定になっている。したがって、今後、特別な場合を除き、地震時保有水平耐力法による照査のみを行い、弾塑性地震応答解析は行わなくてよい耐震設計法を模索してゆくべきであると考える。

参考文献 1) 中井 博・北田俊行・中西克佳・大東和徳：補剛箱形断面を有する部分合成橋脚柱の地震時挙動に関する実験的研究、土木学会関西支部・平成 9 年度年次学術講演会講演概要集、pp.I-6-1～I-6-2、1997 年 5 月。
2) 土木学会・鋼構造委員会・終局強度小委員会・合成構造物の終局強度分科会編：鋼構造物設計指針・合成構造物編、PART B、第 4 編 合成柱編、および第 5 編 資料編、1997 年 9 月。

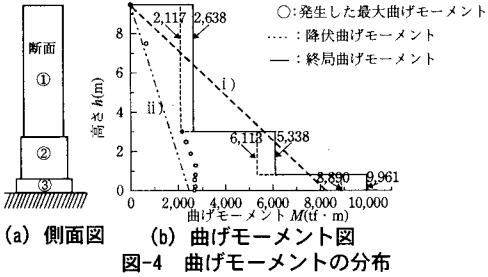


表-5 終局限界状態の照査式での照査結果

断面位置	①と②との変断面部	②と③との変断面部	橋脚柱基部
M_p	2,167	2,718	2,672
M_{uv}	3,059	5,737	12,533
P_v	1,347	1,347	1,347
P_{cr}	743,328	21,806,399	326,524,869
ϕ	0.94	0.99	1.00
式の左辺の値	0.754	0.478	0.213
照査結果	O.K.	O.K.	O.K.

備考：
 M_p ：合成柱に作用する設計曲げモーメント（上図では、解析で発生した曲げモーメントとした。）
 M_{uv} ：合成柱部材の設計曲げ耐力
 P_v ：合成柱部材に作用する軸方向圧縮力
 P_{cr} ：合成柱部材の弾塑性荷重
 ϕ ：合成柱の $M-N$ 相関曲線に基づく係数（各諸元は、文献3)を参照し算出した。）

表-6 地震時保有水平耐力法による応力照査結果

項目		道路橋示方書		鋼構造物の設計
		タイプⅠ	タイプⅡ	指針の参考資料
地震時保有水平耐力の照査	$k_{he}W(tf)$	579.8	908.2	370.1
	$P_a(tf)$	353.6	380.5	407.3
	判定	$P_a \leq k_{he}W$ NO	$P_a \leq k_{he}W$ NO	$P_a \geq k_{he}W$ O.K.
応答塑性率	μ_R	5.87	21.59	5.25
残留変位の照査	$\delta_R(m)$	0.0632	0.2670	0.0552
	$\delta_{Ra}(m)$	0.0948	0.0948	0.0948
	判定	$\delta_R \leq \delta_{Ra}$ O.K.	$\delta_R \geq \delta_{Ra}$ NO	$\delta_R \leq \delta_{Ra}$ O.K.