

I-636

R C 単一柱橋脚を有する道路橋の変形程度と作用地震力との関係

日本技術開発株式会社 正員○増田 真一
建設省土木研究所 正員 常田 賢一
建設省土木研究所 正員 相沢 興
日本技術開発株式会社 正員 佐伯 光昭

1. ま え が き 道路橋下部工の耐震設計において、下部工の変形性能を考慮した合理的な設計手法を考えようとする場合、構造物の限界状態とそれに対する荷重の設定が必要となる。このうち構造物の限界状態としては、構造物の被害（＝変形）程度により表わすことができるが、変形程度に応じた作用地震力との関係は明らかにされていないのが現状である。特に、既往の地震で大被害を受けた橋梁において強震記録が得られている事例は皆無である。一方、許容応力度法により設計された橋で、設計震度を上回る地震力が作用したと考えられるものでも、地震後の調査で被害が認められず、その後も何ら支障なく使用されている例が多いことも周知の事実である¹⁾。このような背景のもとに、ここではRC単一柱橋脚を例にとり、変形程度と作用地震力の関係を調べるとともに、これらと設計震度との関係について考察した結果を報告する。

2. 検 討 方 法 まず、表-1に示す条件を想定し、各ケースについて許容応力度法により下部工の寸法、諸元を定める。次に、各モデルの固定橋脚の橋軸方向に対して、道路橋示方書²⁾の方法により橋脚天端での水平力Pと変位 δ の関係を求める。得られたP～ δ 曲線から、等価エネルギー法を適用すると、任意の荷重P_Eに対する非線形変位 δ_{NL} が次式で求められる（図-1参照）³⁾。

$$\delta_{NL} = \left[-\delta_y (1-k) + \sqrt{\delta_y^2 (1-k)^2 + k \delta_E^2} \right] / k \quad (1)$$

このとき、橋脚の変形程度を $\delta_{NL} / \delta_y = \mu$ （塑性率）で表示すると、 μ に応じた作用地震力P_Eあるいは作用震度k_{hE}が、(1)式にもとづいて次のように求まる。

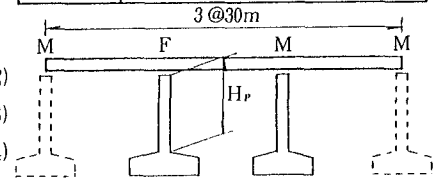
$$\delta_E = \delta_y \sqrt{k(\mu-1)^2 + 2\mu-1} \quad (2)$$

$$P_E = \delta_E \cdot P_y / \delta_y \quad (3)$$

$$k_{hE} = P_E / W \quad (4)$$

表-1 検討モデル設定条件一覧

地盤種別	I 種	II 種	III 種
基礎形式	直接基礎		
上部工形式	PC桁		鋼板桁
橋 脚	RC矩形断面, H _r =5m, 7m, 12m		



ここで、 $W=0.3 W_p + W_u$ （ W_p ：橋脚重量、 W_u ：橋脚が支持する上部工部分の重量）とする。これらの式を用いて、各ケースの μ とk_{hE}の関係を求め、これと設計震度k_hとの関係を調べる。

3. 検 討 結 果 お よ び 考 察 設定した各モデル橋梁の固定橋脚における橋軸方向の柱幅は1.6～3.6mの範囲にあり、引張鉄筋比は0.4～0.9%，せん断支間比は2.45～4.94，軸力比は2.9～4.9，固有周期は0.23～0.63秒の範囲にある。これらの各ケースについて塑性率 μ と作用震度k_{hE}の関係を求めると、橋脚高さの違いによる影響は小さかった。そこで代表例として橋脚高さが12mの場合における μ とk_{hE}の関係を図-2に示す。同図によれば、地盤種別がI種、II種、III種の順にk_{hE}が大きくなることがわかる。ここで、地盤種別の違いによる設計条件の違いは、結局、設計震度の違いであるため、対象とする全ケースにおいて μ とk_{hE}/k_{hy}（ここで、k_{hy}は鉄筋の降伏応力度 σ_{sy} に対応する震度であり、 σ_{sy} が地震時の鉄筋の許容応力度 σ_{sa} を少し上回る値であるから、k_{hy}は設計震度k_hを少し上回る値となる）の関係を求めたところ、図-1に示すばねkの値が大きくなればk_{hE}/k_{hy}の値も大きくなるが、その違いは非常に小さく、いずれのケースも図-3に示すようにほぼ一定の傾向にあることがわかった。ちなみに、対象ケースにおいてk値は最大でも0.07であり、この結果、図-3の曲線は(2)式においてk=0とした場合の曲線（ $\delta_E / \delta_y = k_{hE} / k_{hy} = \sqrt{2\mu-1}$ ）の少し上にある。以上のことから、今回対象としたモデル程度の橋梁であれば、

所定の設計荷重に対して設計されたRC橋脚に任意の変形程度（ μ ）を生じさせる荷重の大きさは、その荷重を設計荷重に対する比率で表すと、いずれも同様な傾向にあるといえることができる。この原理を応用すれば、図-4に示すように、任意の地震動（震央距離 Δ ，マグニチュード M ，および地盤種別の組み合わせ）に対して、橋の固有周期がわかれば、作用震度と塑性率を知ることができる。この図の横軸は、道路橋示方書V耐震設計編（平成2年2月）の参考資料に示される加速度応答スペクトル S_A を $k_{hE} \cdot g$ として考え、これを k_h （図の例では0.2）で除したものである。したがって、 k_{hY} が k_h を少し上回る値であることから、図-4下の曲線は図-3の分布範囲の平均値を少し上回る値である。次に、実際の変形程度との関係については、既往の実験・研究の成果から $\mu = 4$ 程度以上でコンクリートのはく落、鉄筋の座屈、破断等に至る¹⁾という一つの目安が得られていることを考えると、図-3より $k_{hE}/k_{hY} = 2.7$ 程度以上で上記の変形に対応するものといえる。また、設計震度 k_h をもとに考えると、この値は3.2程度となる（図-4参照）。

4. あとがき RC単一柱橋脚を対象に変形程度と作用地震力の関係について、等価エネルギー法を適用して検討した結果、作用震度 k_{hE} を設計震度 k_h （もしくは降伏震度 k_{hY} ）で正規化して表示することにより、塑性率 μ との関係を平均的な曲線で表わせることが判明した。したがって、この μ の値と実際の被害（=変形）程度との関係をより明確化することにより、 μ を指標にしてRC橋脚の耐震設計を行うことが可能となると考えられる。最後に、計算を担当した日本技術開発(株)濱野雅裕氏に謝意を表します。

〔参考文献〕1)建設省土木研究所：橋梁基礎の耐震設計のための地震工学研究の現状，土木研究所資料第2385号，昭和61年7月，2)日本道路協会：道路橋示方書V耐震設計編，平成2年2月，3)川島，小山：大地震に対するRC橋脚の耐震設計法，土木学会第40回年次学術講演会概要集，昭和60年11月

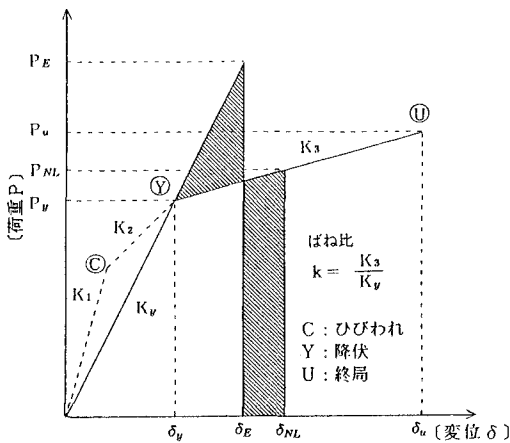


図-1 橋脚天端における荷重 P と変位 δ のモデル化

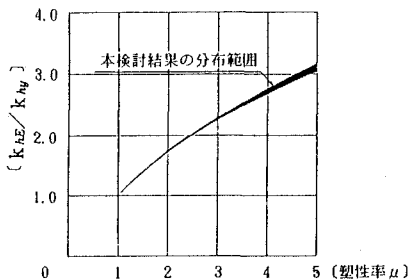


図-3 塑性率 μ と $\frac{k_{hE}}{k_{hY}}$ との関係

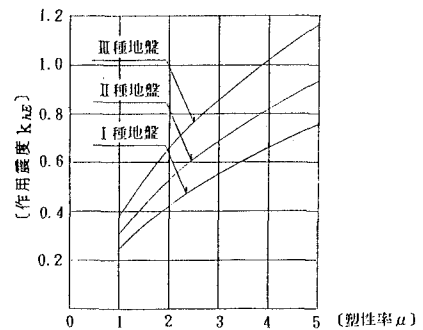


図-2 塑性率 μ と作用震度 k_{hE} の関係
(橋脚高さ=12mの例)

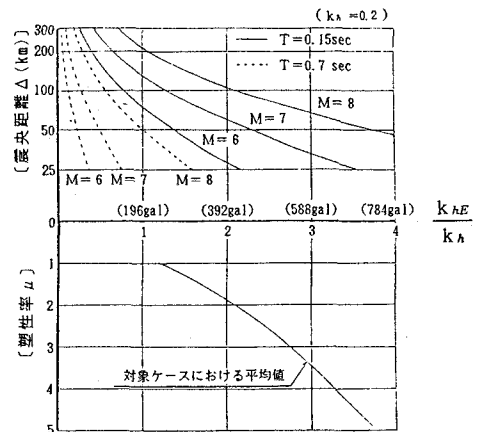


図-4 地震のマグニチュード M ，震央距離 Δ
 $\sim k_{hE}/k_h \sim \mu$ の関係（I種地盤の例）