

1. まえがき

世界で起きる地震の 20 数%を占めるわが国では、
 現行の設計基準強度を越える連動地震の発生が危惧さ
 れている。設計基準を超える地震動も含めて、高架橋
 を支える橋脚が求められる性能に対してどの程度余裕
 をもって設計されているかを知ることが、減災上、極
 めて重要である。

ここでは、想定をも超えた地震動に対する RC 橋脚の耐震性を評価するため、“耐震裕度”による RC 橋脚の耐震性能評価法について述べる。そのため、RC 橋脚の剛性を種々変化させ、さまざまなレベルの地震動強度との照査が可能なように、プッシュオーバー解析を実施する。

2. RC 橋脚の耐震裕度による耐震性能の評価

RC 橋脚が、想定地震動に対し、どの程度余裕をも
って設計されていたかを判定する指標を

$$R = \frac{k_R}{k_S} \quad (1)$$

とする¹⁾。これを耐震裕度と呼ぶ。ここに、 k_R はRC橋脚が保有する抵抗度を表した震度、 k_S は地震力を表す震度である。いま、地震力を道示V耐震設計編²⁾で定められる設計地震力にとれば、抵抗震度 k_R と外力震度 k_S はそれぞれ

$$k_R = \frac{P_E}{W} = \frac{P_a}{c_s W} \quad (2)$$

$$k_S = c_z k_{hc0} \quad (3)$$

で与えられる．ここに， P_E は弾性応答時の水平力(N)， P_d は地震時保有水平耐力(N)， W は等価重量(N)， c_s は構造物特性係数， c_z は地域別補正係数， k_{hc0} は設計水平震度の標準値である．この場合， $R \geq 1.0$ ($k_R \geq k_S$)であれば，RC 橋脚が耐震基準を満足していると判定でき，さらにその余裕量が定量的に評価できる．一方， $R < 1.0$ ($k_R < k_S$)であれば，RC 橋脚が要求性能を満た

ず、かつどの程度の耐震補強が必要であるかが評価できる．このように、耐震裕度 R は、任意の地震動強度に対し、橋脚が耐震上、どの程度の過不足な状態にあるかを定量化する尺度となる．

3. RC 橋脚のプッシュオーバー解析

3.1 RC 橋脚のモデルとその材料特性

RC 橋脚の断面特性を種々変化させ、その弾塑性挙動をプッシュオーバー解析によって明らかにする。基準とした RC 橋脚の断面を図 1 に示す。上部構造の重量を 6.9(MN)、橋脚の高さを 10(m)に設定し、耐震設計の条件を A1 地域、II 種地盤に仮定した。

RC 橋脚のコンクリートは設計基準強度が $21(\text{N/mm}^2)$ ，ヤング率が $23.5(\text{kN/mm}^2)$ である．鉄筋は SD295 で，その降伏引張強度を $295(\text{N/mm}^2)$ ，ヤング率を $200(\text{kN/mm}^2)$ とした．コンクリートと鉄筋の応力-ひずみ関係を図-2 のように仮定した．

3.2 プッシュオーバー解析の方法

RC 橋脚の強度と変形の関係を得るため、フーチン

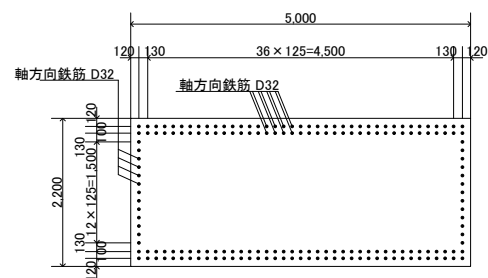


図-1 RC 橋脚の断面形状

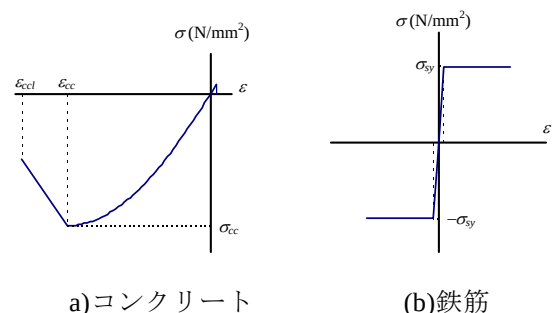


図-2 コンクリートと鉄筋の応力-ひずみ関係

グの下端を固定し、橋脚の天端に地震動に相当する水平変位を作用させてプッシュオーバー解析を実施する。ファイバーモデルの分割は、橋脚高を 50 分割、横断面を水平荷重の作用方向に 1,000 層とした。数値解析の詳細は、文献 1)を参照されたい。

4. 数値解析結果とその考察

4.1 RC 橋脚の水平荷重と水平変位の関係

RC 橋脚の断面特性の違いが橋脚の耐震性能に及ぼす影響をプッシュオーバー解析によって明らかにする。図-1 に示す断面を基準に、鉄筋の間隔を 125mm から 95mm まで 5mm の間隔で狭め、断面の剛性を徐々に上げた 7 本の RC 橋脚を解析した。数値解析結果によって、RC 橋脚の水平強度－水平変位の関係を描けば、図-3 を得る。図からも明らかなように、鉄筋の間隔が狭まる、すなわち、橋脚の剛性が高まれば、保有水平耐力は当然強まる。ただし、限界水平変位は小さくなり、橋脚の変形性は劣るようになる。

4.2 耐震裕度を用いた耐震性能評価

プッシュオーバー解析によって得られた橋脚の水平強度－水平変位の結果を用い、示方書 2)で定められたレベル 2 地震動（タイプ II 地震動）の設計地震力（この場合、すべての橋脚で $k_{hc0}=1.75$ である）が作用した場合の耐震裕度を求めれば、表-1 を得る。表から分かるように、すべての橋脚で耐震裕度が $R=1.0$ を越えているため、いずれも現行の耐震基準を満足している。間隔が 125mm の橋脚は $R=1.03$ で、設計基準をわずかに上回った効率的な設計となっている。一方、95mm の場合には $R=1.22$ で、設計で求められる性能の 1.2 倍以上を保有している。想定以上の地震動が起こることを考えたときには、設計時にどの程度余裕な性能を保有させておけばよいかが課題となる。ここで提案した指標を用いれば、性能を創造した設計（性能創造型設計）が可能となる。

つぎに、想定以上の地震動が作用した場合を考え、外力震度が $k_s=2.0$ の地震力が RC 橋脚に作用したと仮定する。この場合の耐震裕度を求めれば、表-2 を得る。表によれば、鉄筋間隔が 125mm から 110mm の橋脚は R が 1.0 を下回る。耐震基準を満足して設計されている橋脚も外力震度が $k_s=2.0$ の想定以上の地震動を受ければ、崩壊する可能性がある。一方、105mm から 95mm の橋脚は $k_s=2.0$ の地震力にも余裕な性能

を保持している。このように、耐震裕度を用いれば、種々の地震力に対する橋脚の耐震性能が把握でき、想定以上にも対処でき、その性能が定量的に評価できる。

5. あとがき

RC 橋脚の断面特性の違いが橋脚の耐震性能に及ぼす影響をプッシュオーバー解析によって明らかにし、その性能を耐震裕度によって評価した。その結果、この指標によって橋脚の性能が定量的に評価できることを示した。また、耐震裕度を用いれば、想定以上の地震動に対する橋脚の性能が定量化できる。

参考文献

1)戸井干輝・木野村宏昭・鶴田浩章・堂垣正博：想定外を勘案した RC 橋脚の耐震性能評価と維持管理戦略，コンクリート工学年次論文集，日本コンクリート工学会，Vol.35，No.2，pp.913-918，2013-7。
2)日本道路協会編：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，丸善，2012。

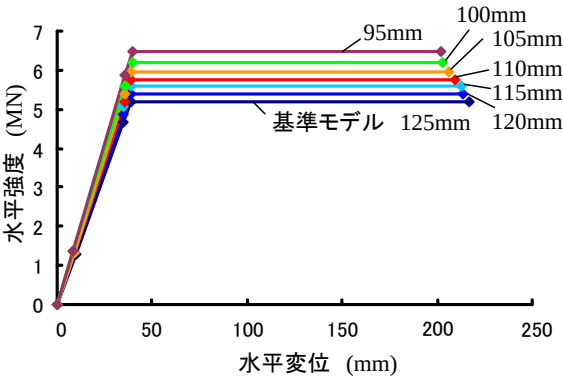


図-3 RC 橋脚の水平強度－水平変位曲線

表-1 耐震裕度による性能評価

鉄筋間隔 (mm)	保有水平耐力 P_a (MN)	抵抗震度 k_R	外力震度 k_S	耐震裕度 R
125	5.17	1.81	1.75	1.03
120	5.40	1.86	1.75	1.06
115	5.60	1.92	1.75	1.10
110	5.74	1.95	1.75	1.11
105	5.97	2.00	1.75	1.14
100	6.20	2.05	1.75	1.17
95	6.49	2.14	1.75	1.22

表-2 想定以上の地震動が作用した場合の性能評価

鉄筋間隔 (mm)	保有水平耐力 P_a (MN)	抵抗震度 k_R	外力震度 k_S	耐震裕度 R
125	5.17	1.81	2.0	0.90
120	5.40	1.86	2.0	0.93
115	5.60	1.92	2.0	0.96
110	5.74	1.95	2.0	0.97
105	5.97	2.00	2.0	1.00
100	6.20	2.05	2.0	1.02
95	6.49	2.14	2.0	1.07