

想定以上の地震動に対する RC 橋脚の耐震裕度による耐震性能評価

関西大学大学院理工学研究科 学生会員○木野村宏昭

(株) 修成建設コンサルタント

山田駿也

関西大学環境都市工学部

正会員 堂垣正博

1. まえがき

現在、わが国では、現行の設計地震動強度を越える地震の発生が危惧されている。高架橋を支える橋脚が設計地震動に対して、どの程度余裕をもって設計されているかを知っておくことは、減災上、極めて重要である。

ここでは、さまざまな地震動強度に対する RC 橋脚の耐震性能を“耐震裕度”によって評価する方法について述べる。この場合、想定以上の地震動の発生を念頭に、現行の耐震基準を満たす RC 橋脚を基本モデルとし、そのモデルの断面剛性を種々変化させた RC 橋脚の保有性能をプッシュオーバー解析によって明らかにする。

2. 耐震裕度による RC 橋脚の耐震性能評価

RC 橋脚が想定地震動に対してどの程度余裕をもって設計されていたかを表す指標、すなわち、耐震裕度は

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

のように定義される¹⁾。ここに、 k_R は RC 橋脚が保有する抵抗強度を表す震度、 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 RC 橋脚が吸収できるエネルギーに等価な、弾性応答を仮定した橋脚の水平力(N)、 P_a 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、 $k_R \geq k_S$ 、すなわち、 $R \geq 1.0$ であれば、RC 橋脚は耐震設計基準を満たし、その余裕量が定量化される。一方、 $k_R < k_S$ 、すなわち、 $R < 1.0$ であれば、RC 橋脚は耐震設計基準を満たさず、どの程度の耐震補強が必要かが明らかにされる。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表す尺度となる。

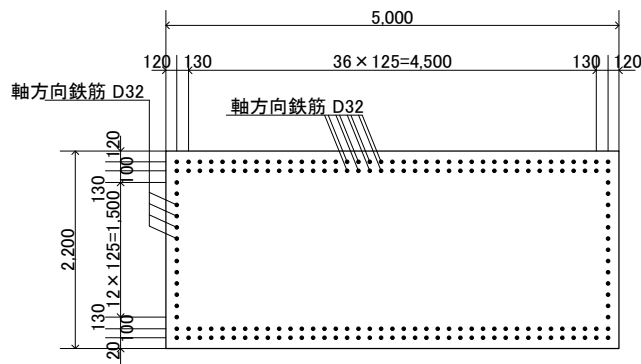


図-1 RC 橋脚の断面形状

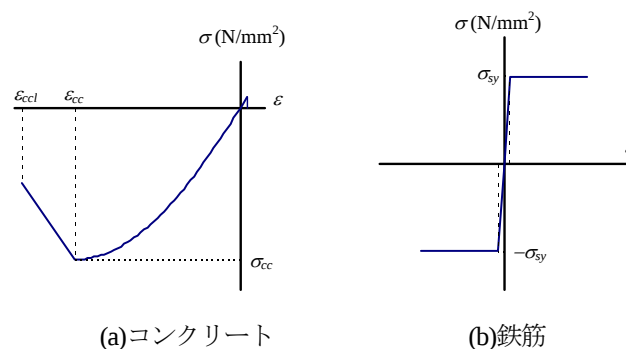


図-2 コンクリートと鉄筋の応力-ひずみ関係

3. RC 橋脚モデルとその材料特性

断面剛性を種々変化させた RC 橋脚の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)に設定した、また、耐震設計の条件を A1 地域、II 種地盤とし、設計地震力にレベル 2 地震動（タイプ II 地震動）を選んだ。

RC 橋脚を構成するコンクリートの設計基準強度は 21(N/mm²)、ヤング率は 23.5(kN/mm²)である。鉄筋には SD295 を採用し、その降伏引張強度を 295(N/mm²)、ヤング率を 200(kN/mm²)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。数値解析の手法やその詳細は、文献 1)を参照されたい。

4. 数値解析結果とその考察

RC 橋脚の断面剛性を種々変化させ、橋脚の耐震性能をプッシュオーバー解析によって明らかにする。また、耐震裕

キーワード：RC 橋脚、耐震裕度、想定以上、耐震性能評価、プッシュオーバー解析

連絡先：〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35 TEL.06-6368-0882/FAX.06-6368-0882

度を用いて、想定以上の地震動が作用した場合に橋脚がどのような状態に至るかを推定する。

4.1 設計地震力に対する RC 橋脚の耐震裕度による耐震性能評価

RC 橋脚の断面剛性の違いが橋脚の耐震性能に及ぼす影響を明らかにする。図-1 に示す断面を基準に、橋脚が保有する耐震裕度を $R=1.0$ から $R=1.25$ の範囲で種々変化させ、それらに対応する断面剛性を試行錯誤して求め、それらをプッシュオーバー解析した。さまざまな断面剛性からなる RC 橋脚に対し、得られた水平強度－水平変位の関係を描けば、図-3 を得る。図から明らかなように、鉄筋の本数を増やす、すなわち、鉄筋の間隔を狭めれば、橋脚の剛性は増し、保有水平耐力は当然上昇する。 $R=1.22$ の橋脚は $R=1.03$ の橋脚に比べて、保有水平耐力が 25%以上向上している。ただし、断面剛性の増加に伴い、その限界水平変位は小さくなる。

つぎに、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 $k_{ho}=1.75$ である）が作用した場合の橋脚の耐震性能や必要とされる鉄筋の間隔をまとめれば、表-1 を得る。表によれば、設計基準の性能に対して 1.2 倍の性能（ $R=1.22$ ）を保证するには、鉄筋を約 95mm 間隔に配筋する必要がある。設計基準をわずかに上回る $R=1.03$ の橋脚は、抵抗震度は $k_R=1.81$ で、1,780gal の地震動まで耐えられる。想定以上の地震動が起こることを念頭に置くのであれば、設計時にどの程度の余剰な性能を保有させるかが課題となる。ここで提案した指標を用いれば、性能を創造した設計いわゆる性能創造型設計が可能となる。

4.2 想定以上の地震動に対する RC 橋脚の耐震裕度による耐震性能評価

4.1 で用いた耐震裕度が $R=1.0$ から $R=1.25$ の範囲で断面剛性の異なる 7 本の RC 橋脚に、外力震度が $k_s=2.0$ の地震力が作用したとする。この場合の耐震裕度を求めれば、表-2 を得る。表によれば、鉄筋の間隔が 125mm から 110mm の橋脚は $R<1.0$ となる。それゆえ、耐震設計基準を満たすように設計された橋脚も外力震度 $k_s=2.0$ の地震動を受ければ、損傷する可能性がある。一方、鉄筋の間隔が 105mm から 95mm の橋脚は $k_s=2.0$ の地震力に対して余剰な耐震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性能が把握できる。また、耐震裕度を応用すれば、想定以上の地震動が作用したときの橋脚の状態が明らかにされ、修復性を考えた設計が可能となる。

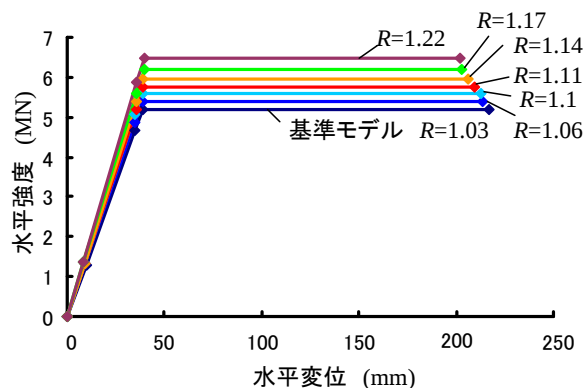


図-3 RC 橋脚の水平強度－水平変位曲線

表-1 耐震裕度による性能評価

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

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

5. あとがき

RC 橋脚の断面剛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、想定以上の地震動に対する橋脚の耐震性能が本指標によって定量化できることを示した。耐震裕度を用いれば、橋脚が保有する耐震性能を予め把握でき、いつ起こるかわからない大地震への備えができる。

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.