

1. まえがき

平成 7 年 1 月 17 日に発生した兵庫県南部地震では道路橋に甚大な被害が生じた。その被災状況を分析すれば、昭和 55 年以前の設計基準に準拠した橋脚の被災度が大きかった。要因のひとつに、設計荷重が過小に想定されていたことが考えられる。

東北地方太平洋沖地震では、新聞やマスコミで想定外という言葉が頻繁に使われた。この地震を教訓に、東海・東南海・南海地震の発生が危惧されている状況下で、RC 橋脚の耐震性能を想定荷重あるいは想定以上の荷重に対して再評価し、余剰度を把握することは極めて重要である。

ここでは、想定以上の地震荷重が作用することを念頭に、耐震基準に対し、RC 橋脚がどの程度余裕をもって設計されているかを知ることができる“余裕度”による耐震性能評価法を提案する。

2. RC 橋脚の耐震性能の余裕度による評価法

2.1 照査

想定内および想定以上の地震荷重に対し、RC 橋脚の性能を定量的に評価するため、新たにつぎの耐震照査法を提案する。すなわち、

$$k_R \geq k_S \quad (1)$$

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

$$P_E = \frac{P_u}{c_S} \quad (3)$$

$$c_S = \frac{1}{\sqrt{2\mu_a - 1}} \quad (4)$$

$$k_S = c_z k_{hc0} \quad (5)$$

である。ここに、 k_R ：抵抗震度、 k_S ：外力震度、 P_E ：弾性応答水平力(N)、 P_u ：終局水平力(N)、 W ：等価重量(N)、 c_S ：構造物特性係数、 c_z ：地域別補正係数、 μ_a ：許容塑性率、 k_{hc0} ：設計水平震度の標準値である。

本法は、震度を照準に照査する方法である。上述の抵抗震度 k_R は、橋脚が耐震性能 2 または耐震性能 3 に達したときの震度を表す。これは、図 1 に示すように、エネルギー

一定則に則り、橋脚が吸収するエネルギー量と弾性変形したときのエネルギー量が同量になる強度 P_E を等価重量 W で除したものである。この場合、現行の設計基準と異なっており、変形能は橋脚の抵抗強度に考慮されている。すなわち、加速度 k_R の地震動が作用したとき、橋脚が耐震性能 2 または耐震性能 3 の状態にあることを意味する。また、外力震度 k_S は地震動の大きさを表している。

2.2 余裕度

橋脚が設計基準に対してどの程度余裕をもって設計されているかを評価する。ここでは余裕度 R を

$$R = \frac{k_R}{k_S} \quad (6)$$

と定義する。これは、橋脚の耐震性能が橋脚の要求性能に対し、どの程度の余裕をもっているかを示し、

$R \geq 1.0$: R の値の大小で橋脚の余裕度が量れる。

$R < 1.0$: 橋脚が要求性能を満たさず、耐震補強が必要になる。

3. 数値解析

3.1 対象橋脚

対象橋脚を、(a) model 1 : 断面寸法が $5,000 \times 2,200(\text{mm})$ の昭和 55 年度版の道路橋示方書¹⁾に準拠して設計された橋脚、(b) model 2 : 断面寸法が $5,000 \times 2,200(\text{mm})$ の平成 14 年度版の道路橋示方書²⁾に準拠して設計された橋脚、(c) model 3 : 断面寸法が $4,000 \times 2,000(\text{mm})$ の平成 24 年度版の道路橋示方書³⁾に準拠して設計された橋脚、とした。

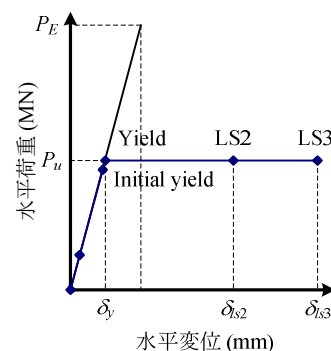


図 1 耐震性能評価の概念

3.2 材料のモデル化

RC 橋脚を構成する材料の応力-ひずみ関係をつぎのように仮定した. すなわち, コンクリートは横拘束筋による拘束効果を考慮した応力-ひずみ関係とした. コンクリートと鉄筋の応力-ひずみ関係を図 2 にそれぞれ示す. コンクリートの設計基準強度として, model 1 と model 2 は $21(\text{N/mm}^2)$, model 3 は $30(\text{N/mm}^2)$ を仮定した. 鉄筋はいずれのモデルも SD295, すなわち, 降伏引張強度 $295(\text{N/mm}^2)$ を仮定した.

3.3 数値解析方法

RC 橋脚の強度と変形能の関係を得るため, 道路橋示方書で定められている方法いわゆるファイバーモデルによるプッシュオーバー解析を用いる.

T 型単柱式の RC 橋脚のフーチングの下部を固定し, 橋脚の天端に地震動に相当する水平変位を作用させた. T 型の張り出し部を除く本体部分にファイバー要素, 張り出し部に剛体棒要素を採用する. フーチングを軸方向鉄筋の伸張を考慮した回転ばねでモデル化した.

3.4 数値解析結果

橋脚の天端での水平荷重-水平変位の関係をモデルごとに描けば, 図 3 を得る. 図中, Crack : 引張縁コンクリートが引張強度に達した時点, Initial yield : 初期降伏限界のことで引張縁の鉄筋が降伏ひずみに達した時点, Yield : 降伏限界, LS2 : 耐震性能 2 の限界で軸方向鉄筋が引張ひずみに達した時点, LS3 : 耐震性能 3 の限界で軸方向鉄筋が引張ひずみに達した時点, を示す.

4. 耐震性能評価

3. 得られた結果から表 1 が作成できる. 同表によれば, model 1 は $R < 1.0$ で, 耐震基準を満足していない. model 2 と model 3 はともに耐震基準を満足している. 一方, model 2 の R_{LS2} と R_{LS3} はともに model 3 よりも大きな値を示した. model 2 は最適な設計であるとはいえないが, 想定以上の地震動が起こることを勘案すれば, 設計荷重よりも余裕を持たせて設計した方がよい場合もある.

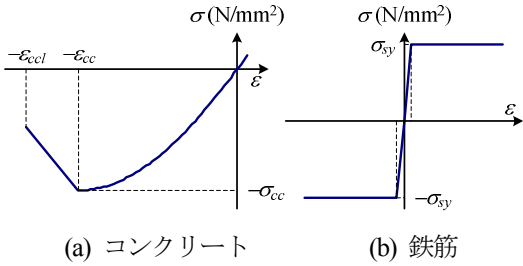


図 2 RC 橋脚を構成する材料の応力-ひずみ関係

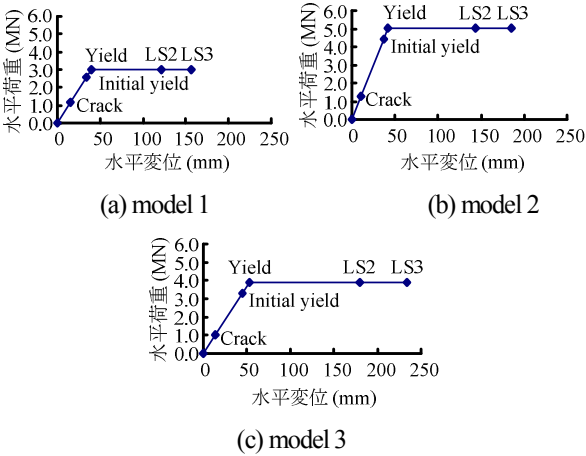


図 3 橋脚天端における水平荷重-水平変位関係

5. あとがき

想定内および想定以上の地震の大小に関わらず耐震性能が評価できる方法を考えた. 設計基準別の 3 つの RC 橋脚の耐震性能を新たな指標“余裕度”によって再評価した. 本研究で得られた結果をまとめると, 以下のようなのである.

- ① 設計荷重に対して, どの程度余裕をもって設計されていたかを表す耐震性能評価指標“余裕度”を提案した.
- ② 想定以上の地震が発生する可能性を考えれば, 規定よりも余裕をもたせて設計した方がよい場合もある.

参考文献

1) 日本道路協会編: 道路橋示方書 V 耐震設計編, 丸善, 1980.
2) 日本道路協会編: 道路橋示方書 V 耐震設計編, 丸善, 2002.
3) 日本道路協会編: 道路橋示方書 V 耐震設計編, 丸善, 2012.

表 1 RC 橋脚の余裕度による耐震性能評価結果

モデル	外力震度 k_s			抵抗震度 k_R			余裕度 R		
	レベル 1	レベル 2		LS1	LS2	LS3	LS1	LS2	LS3
		タイプ I	タイプ II						
model 1	0.25	1.25	1.63	0.49	1.10	1.28	1.94	0.68	0.78
model 2	0.25	1.22	1.57	0.81	1.95	2.27	3.24	1.24	1.44
model 3	0.23	1.13	1.33	0.63	1.51	1.75	2.73	1.13	1.31