

復旧仕様に基づいたRC橋脚の耐震設計プログラム

Earthquake Resistant Design Program for RC-Pier

浦井 正勝
Masakatsu URAI

川田テクノシステム㈱開発部開発一課課長

平井 博彦
Hirohiko HIRAI

川田テクノシステム㈱開発部開発一課係長

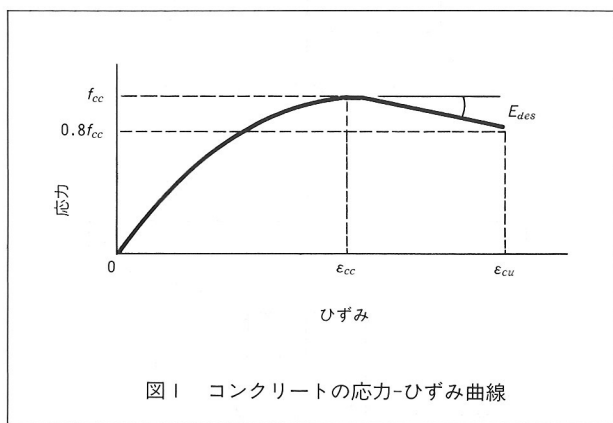
杉本 要二
Yoji SUGIMOTO

川田テクノシステム㈱開発部開発一課

1. まえがき

平成7年1月17日発生した「兵庫県南部地震」は、神戸市・淡路島を中心とする地域に甚大な被害をもたらした。特に、阪神高速道路などの重要な道路・線路の崩壊は、地震発生直後の救助活動、その後の復旧活動を妨げた。過去に例のない都市直下型地震とはいえ早急な対応が要求され、種々の委員会により設計仕様が細部にわたり変更された。そのため既存のプログラムでは対応できなくなり、新たにRC橋脚の耐震設計プログラムを開発した。また、破損した橋脚、他地域の既設橋脚の補強も急務であるため、本プログラムは補強設計にも対応できるものである。

本文で設計仕様の変更点および補強設計について述べることで、本プログラムの紹介とする。



2. 設計仕様の変更内容

(1) 地震時保有水平耐力の照査に用いる水平震度

動的解析（非線形の効果考慮）の簡便法として兵庫県南部地震の最大加速度を、各地盤別に照査用震度に置き換え、この震度を用いて地震時保有水平耐力の照査を行う。

$$K_{hc} = C_z \cdot K_{hc0}$$

ここに、

K_{hc} ：地震時保有水平耐力の照査に用いる照査用震度

C_z ：道路橋示方書V耐震設計編に規定される地域別補正係数

K_{hc0} ：地震時保有水平耐力の照査に用いる照査用震度で橋の等価固有周期 T_{EQ} に応じて表1の値とする。

(2) コンクリートの応力-ひずみ曲線

横拘束筋によるコンクリートの拘束により鉄筋コンクリート橋脚の変形性能を向上させることができるが、道路橋示方書V耐震設計編のコンクリートの応力-ひずみ曲線では、拘束効果を評価できない。よって、図1に基づき、式(1)により算出する。

$$\begin{cases} f_c = E_c \cdot \epsilon_c \cdot \{1/n \cdot (\epsilon_c/\epsilon_{cc})^{n-1}\} & (0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{cc}) \\ f_c = f_{cc} - E_{des} \cdot (\epsilon_c - \epsilon_{cc}) & (\epsilon_{cc} \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{cu}) \end{cases} \quad \dots\dots\dots(1)$$

表1
振動特性別設計水平震度

地震種別	等価固有周期 T_{EQ} (s)に対する K_{hc0} の値		
I 種	$T_{EQ} < 0.3$ $K_{hc0} = 4.46 T_{EQ}^{2/3}$	$0.3 \leq T_{EQ} \leq 0.7$ $K_{hc0} = 2.0$	$0.7 < T_{EQ}$ $K_{hc0} = 1.24 T_{EQ}^{-4/3}$
II 種	$T_{EQ} < 0.4$ $K_{hc0} = 3.22 T_{EQ}^{2/3}$	$0.4 \leq T_{EQ} \leq 1.2$ $K_{hc0} = 1.75$	$1.2 < T_{EQ}$ $K_{hc0} = 2.23 T_{EQ}^{-4/3}$
III 種	$T_{EQ} < 0.5$ $K_{hc0} = 2.38 T_{EQ}^{2/3}$	$0.5 \leq T_{EQ} \leq 1.5$ $K_{hc0} = 1.50$	$1.5 < T_{EQ}$ $K_{hc0} = 2.57 T_{EQ}^{-4/3}$

$$n = E_c \cdot \varepsilon_{cc} / (E_c \cdot \varepsilon_{cc} - f_{cc})$$

$$f_{cc} = f_{co} + 3.8\alpha \cdot \rho_s \cdot f_{yh}$$

$$\varepsilon_{cc} = 0.002 + 0.033 \cdot \beta \cdot \rho_s \cdot f_{yh} / f_{co}$$

$$E_{des} = 11.2 \cdot f_{co}^2 / (\rho_s \cdot f_{yh})$$

$$\rho_s = 4 \cdot A_h / (s \cdot d)$$

ここに

f_c : コンクリートの応力度 (kgf/cm²)

f_{cc} : 横拘束筋で拘束されたコンクリート強度 (kgf/cm²)

f_{co} : コンクリートの設計基準強度 (kgf/cm²)

ε_c : コンクリートのひずみ

ε_{cc} : 最大圧縮応力時のひずみ

ε_{cu} : 横拘束筋で拘束されたコンクリートの終局ひずみ

E_c : コンクリートのヤング係数 (kgf/cm²)

E_{des} : 下降勾配 (kgf/cm²)

ρ_s : 横拘束筋の体積比

A_h : 横拘束筋の断面積 (cm²)

s : 横拘束筋の間隔 (cm)

f_{yh} : 横拘束筋の降伏強度 (kgf/cm²)

α, β : 断面補正係数

円形の場合 ; $\alpha = 1.0, \beta = 1.0$

矩形の場合 ; $\alpha = 0.2, \beta = 0.4$

d : 横拘束筋の有効長 (cm)

円形の場合 ; 帯鉄筋によって拘束される
内部コンクリートの直径

矩形の場合 ; 中間帯鉄筋と中間帯鉄筋間、
中間帯鉄筋と軸方向鉄筋間
の長さのうち最も長いもの

(3) 許容塑性率

橋脚の強度とじん性のバランスを考え許容塑性率に上限を設ける。許容塑性率が上限値を超える場合は、その値を用いて耐力を算出する。

(4) 破壊形態

橋脚の破壊形態は、せん断破壊先行の場合と曲げ破壊先行の場合があるが、曲げ破壊を先行させる。

3. 鉄筋コンクリート橋脚の補強設計

鉄筋コンクリート橋脚の補強には、地震時保有水平耐力を向上させる方法と、じん性を向上させる方法があるが、地震時保有水平耐力が向上すると基礎構造物へ伝達される地震荷重が大きくなり基礎補強が必要となる場合があるため、じん性を向上させる方法に主眼をおくことを基本とする。また、補強対象が被災した鉄筋コンクリート橋脚と被災していない鉄筋コンクリート橋脚に分かれる。被災した橋脚に対する補強は、橋脚の被災状況により変化するため、設計の際に降伏以前、降伏から終局

以前、終局以後となる三つの状態を見極めることが重要である。

以下に、本プログラムが対応する補強方法と特徴を示す。

(1) 鋼板巻立て工法

鋼板を既設橋脚に巻き立ててモルタルまたはエポキシ樹脂を充填し一体化させ補強する方法。横拘束、じん性の向上に効果があり死荷重の増加も少ない。アンカーによりフーチングと定着させることにより地震時保有水平耐力の向上も望めるが、必要アンカー量の施工等に制限がある。

(2) RC巻立て工法

既設RC橋脚に鉄筋コンクリートを巻き立てる方法。水平方向のアンカー鉄筋により一体化させ補強する。断面の増加または補強鉄筋により地震時保有水平耐力の大幅な向上に効果があるが、断面寸法が大きくなり補強部の死荷重が増加する。

(3) 併用工法

RC巻立て工法と鋼板巻立て工法を同時に用いて行う補強方法。地震時保有水平耐力の大幅な向上が必要であり死荷重に制限がある場合、鋼板巻立てのみで補強できない場合などに有効である。

4. おわりに

以上、補強設計と設計仕様の変更内容を述べた。この仕様の内容は、今後行われる種々の実験等によりさらに改善されることが予想される。本プログラムもそれらに即応する予定である。さらに、橋梁下部工の設計において以下のプログラム開発を予定している。

- ① 杭の地震時耐力および変形性能の照査
- ② 基礎の非線形性を考慮した照査
- ③ 支承構造の検討
- ④ 免震設計

今後、これらのプログラムを開発するとともに、一連で動作するシステムの構築を目指していきたい。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，平成2年2月。
- 2) 兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様及び復旧仕様の解説（案），平成7年2月。
- 3) 日本道路協会：「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料（案），平成7年6月。
- 4) 首都高速道路公団：RC橋脚の耐震補強要領（案），平成6年5月。