

# 活荷重を受ける PC 桁の破壊可能性を目標安全水準とした RC 橋脚の耐震信頼性設計

早稲田大学 学生会員 ○神長悠樹  
早稲田大学 学生会員 野上雄介  
早稲田大学 正会員 秋山充良

## 1. はじめに

土木構造物の信頼性設計では、地震や活荷重などの各種のハザードの確率論的評価、あるいは部位や部材の耐力・変形能の評価にかかわる不確定性を考慮し、構造物がある限界状態を超え、要求性能を満足しなくなる可能性を破壊確率や損傷確率として定量化し、それを目標とする値よりも小さくする。信頼性設計の一つの利点は、異なるハザードを受ける構造物や部位・部材同士の安全性の比較を可能にすることであり、相対的に安全性の確保が不足しているハザードを抽出できる。目標破壊(損傷)確率を定める方法には、既に様々な手順が提案されているが、最も一般的なものは、長期にわたり安全性が確保されている構造物の破壊確率を算定し、それを基準とするものである<sup>1)</sup>。なお、同じ構造物であっても、各部位や部材の安全性に影響する支配的なハザードは異なる。例えば、一般的な桁橋形式の橋梁であれば、桁の場合には死・活荷重が支配的な荷重であり、橋脚の場合には地震荷重となる。既に桁の場合には、死・活荷重により損傷し、落橋するような可能性は相当に小さくできていると思われる。一方、橋脚の場合には、地域による地震ハザードによっては、地震により橋脚が損傷する可能性は小さくないと思われる。

本稿では、入手できる活荷重や地震荷重の大きさあるいは頻度を基に、活荷重により桁が損傷する可能性を算定し、それを目標破壊確率として橋脚の耐震信頼性設計を行う。桁はプレテンション PC 桁、橋脚は単柱式の RC 橋脚を対象とする。耐震信頼性設計により得られた単柱式の RC 橋脚と、現行基準でレベル 2 地震動に対して耐震設計された RC 橋脚を比較することで、現行基準に基づき設計される RC 橋脚の保有安全性レベルの大きさについて考察する。

## 2. 耐震信頼性設計フロー

本研究で行う耐震信頼性設計フローを図-1に示す。Step1では、過去に実測された車種混合率や車間距離などの実測データに基づき活荷重シミュレーションを行い<sup>2)</sup>、対象とする PC 桁のスパン中央における最大曲げモーメントの確率分布を作成する。大小2つの実測データを使用し、以降では、活荷重(大)、あるいは活荷重(小)と表記する。本研究で解析対象とする PC 桁の断面図を図-2に示す。Step2では、Step1において評価された最大曲げモーメントと PC 桁の抵抗モーメントの比較から、ライフタイム内に一度でも作用が抵抗を上回る確率を算定する。なお、抵抗モーメントは、PC 鋼材が最初に降伏する状態に対して計算する。想定するライフタイムは50年とする。

Step3では、J-SHIS<sup>3)</sup>において公開されている情報から50年超過確率の地震ハザード曲線を作成する。地震ハザードは地域により大きく

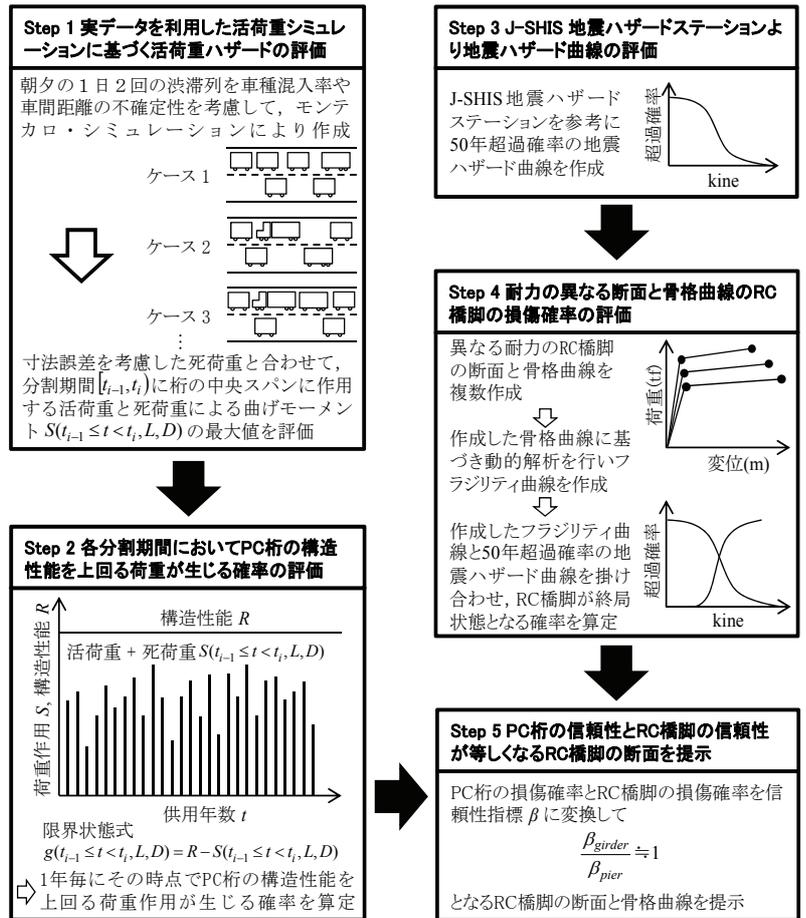


図-1 耐震信頼性設計フロー

Key Words : 耐震設計, 活荷重, コンクリート構造物, フレンジイ解析, 信頼性評価  
連絡先 : 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1 早稲田大学理工学部社会環境工学科 TEL : 03 (5286) 2694

異なるため、本研究では、地震ハザードが大きい例として静岡県浜松市、地震ハザードが小さい例として沖縄県那覇市を選定した。Step4では、予め幾つかのRC橋脚（橋脚高さは12mに固定）を試設計しておき、それぞれに対して非線形時刻歴応答解析を多数回繰り返すMonte Carloシミュレーションにより fragility 曲線を作成した。fragility 曲線の縦軸は、ある地震動強度を持つ地震波が作用したとの条件下でのRC橋脚の破壊確率であり、本研究では、その地震動強度を持つ地震波により生じる最大応答がRC橋脚の終局限界変位を超える確率である。終局限界変位は、軸方向鉄筋のはらみ出しがはじまるときの橋脚天端位置での水平変位であり、参考文献4)に従い算定している。また、fragility 解析の際に用いた模擬地震動は、参考文献5)と同じである。fragility 曲線と、Step3で選定した地震ハザード曲線のコンボリューションによりRC橋脚の破壊確率が算定される。Step5では、活荷重により桁が限界状態に至る確率を目標値として、地震により限界状態に至る確率が目標値に近くなるRC橋脚を選定する。本研究では、式(1)を満足するRC橋脚を耐震信頼性設計の最終的な解とした。

$$0.9 \leq \beta_{girder} / \beta_{pier} \leq 1.1 \quad (1)$$

ここで、 $\beta_{girder}$  : PC桁の信頼性指標、 $\beta_{pier}$  : RC橋脚の信頼性指標、である。

### 3.RC橋脚の耐震信頼性設計

図-1のフローに従い、活荷重によるPC桁の破壊確率と地震荷重を受けるRC橋脚の破壊確率をそれぞれ信頼性指標  $\beta_{girder}$  と  $\beta_{pier}$  に変換した。式(1)を満たすRC橋脚の断面諸量を表-1に、また、各RC橋脚の天端位置の水平荷重—水平変位関係を図-3に示す。

表-1および図-3の凡例において、「地震(大)・活荷重(大)」とは、 $\beta_{girder}$ を計算する際の活荷重シミュレーションにおいて大きな活荷重を与える実測データを用いており、 $\beta_{pier}$ はRC橋脚が浜松市にあると仮定して計算していることを意味する。「レベル2地震動」とは、参考文献6)の中のレベル2地震動に対する照査を満足するRC橋脚である。表-1および図-3に示されるように、浜松のような地震ハザードの大きい地域で桁が確保している安全性を橋脚にも与えようとする、現行基準で耐震設計される場合よりもさらに耐震性能の高い橋脚が必要となる。

### 4. まとめ

橋梁上部工(桁)が有している安全性の大きさと等しくなるように、下部工(橋脚)が有している耐震安全性の大きさを調整した設計例を提示した。同じ橋梁を構成する部位や部材であっても、その安全性に影響するハザードの種類は異なり、確保できている安全性の大きさは異なることが示唆された。

参考文献 1)Sorensen, J.D., Kroon, I.B. and Falber, M.H. : Optimal Reliability-Based Code Calibration, Structural Safety, Vol.15, pp. 197~208, 1994. 2) 松崎裕, 秋山充良, 大木文宏, 中島啓太, 鈴木基行: 塩害環境下にあるコンクリート桁の設計耐用期間にわたる構造安全性評価手法とそのプレテンションPC桁への適用, 土木学会論文集 E Vol.66 No.2,147-165,2010.4) J-SHIS 地震ハザードステーション, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/> (引用日: 2013年1月30日) 4) Naito, H., Akiyama, M. and Suzuki, M.: Ductility evaluation of concrete-encased steel bridge piers subjected to lateral cyclic loading, Journal of Bridge Engineering, ASCE, 16(1), 72-81, 2011. 5) Akiyama, M., Matsuzaki, H., Dan, H.T. and Suzuki, M. 2012. Reliability-based capacity design for reinforced concrete bridge structures. Structure and Infrastructure Engineering, 8(12), 1096-1107. 6) 日本道路協会: 道路橋示方書・耐震設計編, 2012.

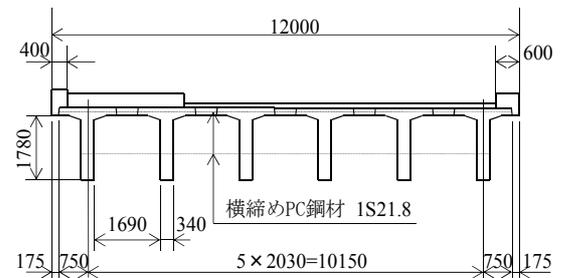


図-2 対象PC桁の断面図<sup>3)</sup>

表-1 断面諸量

	幅 (mm)	高さ (mm)	軸方向鉄筋 D35本数	帯鉄筋D32 間隔(mm)
地震(大)・活荷重(大)	6400	3200	328	125
地震(大)・活荷重(小)	7200	3600	364	125
地震(小)・活荷重(大)	3700	1850	204	125
地震(小)・活荷重(小)	4900	2450	260	125
レベル2地震動	6000	3000	312	125

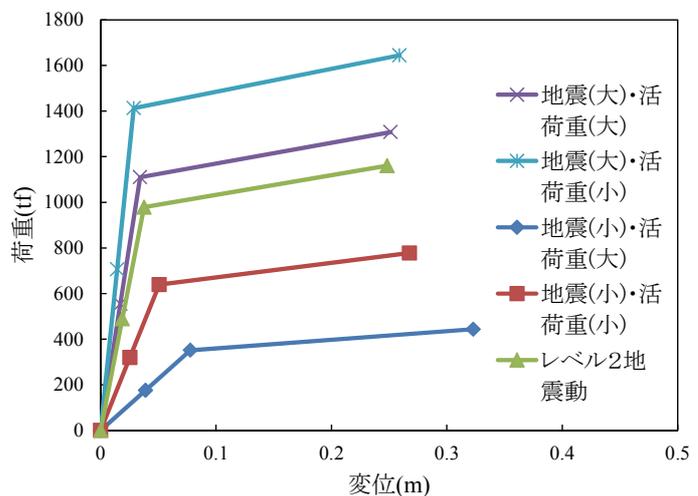


図-3 骨格曲線