

既設 PC 斜材付き π 型ラーメン橋の耐震性判定

西日本高速道路（株） 正会員 ○ 栢木 正喜
 （株）ドユー大地 正会員 伊川 嘉昭
 （株）ドユー大地 正会員 李 首一

1. はじめに

高速道路上を横過する跨道橋の代表的な構造である PC 斜材付き π 型ラーメン橋（以下、斜 π 橋という）は、一般的に耐震性に優れる構造であるとされ、これまで耐震対策が十分に進んでいない状況にある。しかし、跨道橋に甚大な被害が発生した場合、緊急輸送道路としての高速道路の機能も低下させるおそれがあることから、耐震性能の確認及び適切な対策の実施が求められている。ただし、対象橋梁数が多いため、特に耐震性が低いと考えられる橋梁から優先順位を付けて順次対策を実施していく必要がある。これまでも斜 π 橋の耐震性に関する検討¹⁾²⁾は実施されてきており、補強が必要となる部位の明確化、さらには、簡易的な耐震性判定手法の提案がなされてきた。しかし、これらの検討は有効幅員が比較的に広い斜 π 橋を対象としており、有効幅員の狭い斜 π 橋は対象とされていなかった。そこで、有効幅員の狭い斜 π 橋の耐震性能を把握するため、有効幅員 2.5m 未満の斜 π 橋を対象に構造特別に耐震性能の整理を行い、さらにこれらの検討結果をふまえ、耐震性の簡易判定手法の提案を行った。本稿では、既往検討の概要とともに有効幅員 2.5m 未満の斜 π 橋の耐震性能照査結果ならびに耐震性簡易判定手法の内容について述べる。

2. 既往検討の概要

(1) 有効幅員 2.5m 以上の斜 π 橋の耐震性能

既往の検討¹⁾²⁾では、有効幅員 2.5m 以上の標準斜 π 橋（橋長 38～46m）及び変形斜 π 橋（橋長 42～76m）を対象に、道路橋示方書 V 耐震設計編（以下、道示 V という）に示される耐震性能 2 の規定に基づいた耐震性能照査を実施した（表-1）。この結果、垂直材基部及び橋脚基部の橋軸直角方向の曲げ破壊が着目すべき部位ならびに損傷形態であることが明らかとなった。

表-1 有効幅員 2.5m 以上の斜 π 橋の耐震性能

着目部位	評価項目	橋軸方向	橋軸直角方向
上部構造	曲げ・せん断	OK	OK
垂直材 橋 脚	曲げ	OK	基部で OUT になるケースあり
	せん断	OK	OK ^{※1}
斜 材	曲げ・せん断	OK	OK

※1：ディープビーム効果を考慮

(2) 既設斜 π 橋の限界状態の設定

既設斜 π 橋の対策実施の優先順位付けをより明確にするために、道示の規定を超える限界状態として、残留沈下（部材の下方への鉛直変位が初期状態を超えるような状態）の発生を限界状態の一つに設定した。（図-1、表-3）。

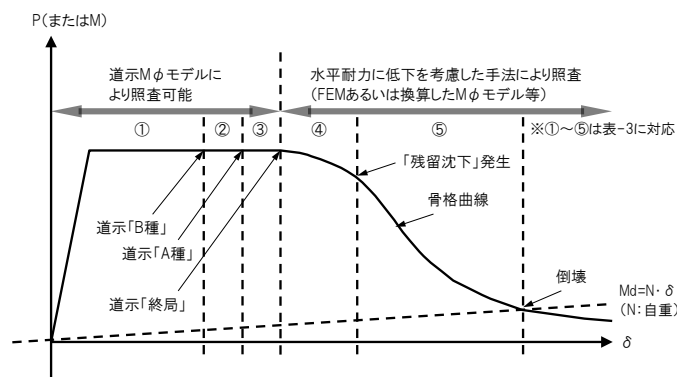


図-1 耐震性能の概念

(3) 安全率 α を用いた残留沈下の判定基準の設定

既設斜 π 橋の構造諸元等をパラメータとした 2 次元 FEM 解析により、残留沈下が発生する限界となる上部構造重量を算出し、これと等価と考えられる非線形はりモデルの応答回転角より安全率 α を算出した。この結果、残留沈下の発生限界を $\alpha=0.75$ と設定した。これをふまえ、耐震性能を安全率 α により表現した（表-3）。ここに、

$$\text{安全率 } \alpha = (\text{終局回転角 } \theta_{pu} - \text{降伏回転角 } \theta_{py}) / (\text{応答回転角 } \theta_{pr} - \text{降伏回転角 } \theta_{py})$$

3. 有効幅員 2.5m 未満の斜 π 橋の耐震性能

(1) 曲げ、せん断に対する耐震性能

有効幅員 2.5m 未満の標準斜 π 橋（橋長 42～53m）

キーワード 斜 π 橋、跨道橋、耐震性、簡易判定

連絡先 〒530-0003 大阪府大阪市北区堂島 1-6-20

西日本高速道路（株） TEL 06-6344-7392

及び変形斜 π 橋（橋長 44～75m）を対象に、道示Ⅴの耐震性能 2 の規定に基づいた耐震性能照査を実施した（表-2）。この結果、橋長が長い場合の上部構造を除き、着目すべき点は有効幅員 2.5m 以上の場合と同様に、垂直材基部及び橋脚基部の橋軸直角方向の曲げ破壊であることが明らかとなった。

表-2 有効幅員 2.5m 未満の斜 π 橋の耐震性能			
着目部位	評価項目	橋軸方向	橋軸直角方向
上部構造	曲げ	橋長が長い場合にOUTになるケースあり※ ^{※1}	OK
	せん断	OK	OK
垂直材 橋脚	曲げ	OK	基部でOUTになるケースあり
	せん断	OK※ ^{※2}	OK※ ^{※3}
斜材	曲げ・せん断	OK	OK※ ^{※4}

※1：床版橋形式の変形斜 π 橋 51m 以上が目安
※2：橋脚ではディープビーム効果を考慮
※3：垂直材ではディープビーム効果を考慮
※4：垂直材が先行して損傷することを確認

(2) ねじりに対する耐震性能

有効幅員が狭い斜 π 橋では、上部構造の橋軸直角方向への変形が大きくなり、それに伴い下部構造にねじりが発生し、いずれも道示Ⅲに規定されるねじりせん断に対する許容値を満足しないことが分かった。ただし、部材のねじり剛性は非線形性を有しており³⁾、エネルギー一定則で非線形応答を推定すると、いずれも終局ねじり角以内であるため、ねじりに対する安全性は確保されているものと考えられる。

4. 耐震性簡易判定

(1) 簡易判定指標の設定

既往の検討¹⁾²⁾において、斜 π 橋の耐震性を簡易的に判定する指標として、構造図及び配筋図から設定可能な「曲げ破壊危険度」が提案されている。これは、垂直材と橋脚の橋軸直角方向の曲げ耐力に着目した指標であり、垂直材もしくは橋脚に作用する曲げモーメントと曲げ降伏耐力との比率を算出したものである。本検討においてもこの指標を適用することとした。曲げ破壊危険度の算定式を以下に示す。

曲げ破壊危険度＝上部構造分担重量×構造高／曲げ降伏耐力	
a) 上部構造分担重量	
・橋脚に着目した場合は上部構造重量の 1/2 とする	
・垂直材に着目した場合は垂直材と斜材の分担率を考慮する	
標準斜 π 橋の場合、垂直材が 100%受け持つものとする	
変形斜 π 橋の場合、垂直材分担率を考慮するものとする	
b) 構造高	
・橋脚に着目した場合は、垂直材高＋橋脚高	
・垂直材に着目した場合は、垂直材の部材長さ	
c) 曲げ降伏耐力	
・部材断面の初降伏耐力（ただし、軸力＝0 の条件で算出）	

なお、本検討では曲げ破壊危険度の算定にあたって架橋地点の地域別補正係数を考慮することとした。

(2) 安全率 α と曲げ破壊危険度の関係

耐震性能は安全率 α により表現されているため（表-3）、安全率 α と曲げ破壊危険度の相関関係を、 α の逆数 $1/\alpha$ と曲げ破壊危険度の近似直線から求め、判定ラインを設定した。これに従い、構造形式に応じた曲げ破壊危険度の判定ラインを設定した。このうち、有効幅員 2.5m 未満の直接基礎（Ⅰ種地盤）の場合の結果を表-3 に示す。

表-3 耐震性能と安全率 α と曲げ破壊危険度の関係

耐震性能 (損傷の程度)		安全率 α の 範囲	曲げ破壊危険度				対策 優先度
			有効幅員 2.5m 未満				
			直接基礎				
			標準斜 π 橋		変形斜 π 橋		
			垂直材	橋脚	垂直材	橋脚	
⑤	残留沈下が発生する	$\alpha < 0.75$	9.88~	4.24~	8.58~	4.95~	高い
④	残留沈下が発生しない	$0.75 \leq \alpha < 1.0$	8.76~ 9.88	3.85~ 4.24	7.68~ 8.58	4.33~ 4.95	低い
③	水平耐力が低下しない	$1.0 \leq \alpha < 1.2$	8.20~ 8.76	3.65~ 3.85	7.22~ 7.68	4.02~ 4.33	
②	致命的な被害を受けない	$1.2 \leq \alpha < 1.5$	7.65~ 8.20	3.45~ 3.65	6.77~ 7.22	3.71~ 4.02	
①	限定的な損傷にとどめる	$1.5 \leq \alpha$	~7.65	~3.45	~6.77	~3.71	不要

(3) 簡易判定結果

曲げ破壊危険度による簡易判定の結果、西日本高速道路管内の約 1,000 橋の既設斜 π 橋のうち 210 橋で対策優先度が高いと判定された。

5. おわりに

本検討により、高速道路上の既設斜 π 橋の耐震対策方針を明確にするとともに、対策優先度の簡易判定が可能となる手法の提案につながったものと考えられる。耐震対策の実施にあたっては、橋梁数が多いことに加えて、補強方法の具体化等の課題が残されているが、跨道橋の管理者である各自治体と協力し、今後対策を進めていくうえで順次解決し、円滑な対策実施につなげていきたい。

参考文献

- 1) 東京第三管理局管内 既設構造物の補強設計・施工に関する技術検討, 平成 13 年 3 月, (財) 高速道路技術センター
- 2) 東京第一管理局管内 跨道橋 (PC 斜 π) の耐震性に関する検討, 平成 14 年 1 月, (財) 高速道路技術センター
- 3) 大塚久哲, RC 橋梁のねじり耐震照査と補強, 2011 年 9 月, 樺歌書房