

### 瀬戸大橋吊橋の耐震補強

本州四国連絡高速道路株式会社 正会員 ○平山 靖之  
 本州四国連絡高速道路株式会社 正会員 河藤 千尋  
 本州四国連絡高速道路株式会社 正会員 花井 拓

#### 1. はじめに

本四高速(株)では、瀬戸大橋の耐震補強に平成25年度から本格的に着手している。このうち、瀬戸大橋を構成する代表的な長大橋である吊橋3橋(下津井瀬戸大橋, 南北備讃瀬戸大橋)の耐震性能照査・補強設計を行った。本稿は、対象橋梁のうち下津井瀬戸大橋に着目して、補強設計の検討内容の概要について報告するものである。

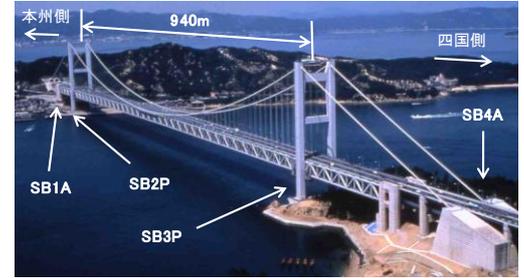


写真-1 橋梁全景

#### 2. 橋梁概要と照査条件

下津井瀬戸大橋を写真-1に示す。本橋は、中央支間長940mの長大吊橋であり、道路鉄道併用橋では、世界最大級である。構造形式は張出し径間付き単径間補剛トラス形式で、主塔部で補剛桁にヒンジを設けない連続桁形式となっている。表-1に地震応答解析に用いたモデル条件を示す。また、設計地震動と主塔および補剛桁の1次の固有周期を図-1に示す。解析は、幾何学的非線形性を考慮した時刻歴応答解析を行った。

表-1 解析モデル条件

分類	部位	モデル化	材料	減衰
主塔	柱部・水平材	ファイバー要素	非線形	0.01
主構	上下弦材・斜材・垂直材	ファイバー要素	非線形	0.01
主横トラス	上下弦材・ブラケット等	ファイバー要素	非線形	0.01
横構	上下横構	ファイバー要素	非線形	0.01
床組	道路桁・鉄道桁・緩衝桁	線形はり要素	線形	0.02
	道路桁支承・鉄道桁支承	線形バネ要素	線形	0
変位制限	ウインドサ	バネ要素	線形	0
	エンドストッパー	衝突ばね	非線形	0
ケーブル	主ケーブル、ハンガー、センターステイ	非線形はり要素	線形	0.01
アンカレイジ	躯体	剛体	線形	0
	スプレーサドル	線形バネ要素	線形	0
地盤-基礎系	ケーソン基礎・直接基礎	ウインクラーモデル	非線形	0.1

#### 3. 耐震照査結果

表-2に照査結果の総括表を示す。全般的に損傷箇所は少ない結果となった。特に主塔、補剛桁の主要な部材には大きな損傷は見られなかった。これは、上部工は暴風時で設計されている部材が多く、また対象橋梁が長周期構造物であり、特に補剛桁などの主要な振動モードの固有周期帯では、今回設計に用いた地震力が建設時の地震力と大差ないことによるものと考えられる。損傷部位はセンターステイ及び道路桁支承(BP-B支承)、主横トラスであった。SB2P主塔近傍の損傷部位を図-3に示す。

センターステイは建設時の設計から地震時での破断を想定していること、また今回のセンターステイの破断を考慮した地震応答値解析を行った結果、補剛桁が橋軸方向変位により、エンドストッパーに衝突しないことを確認し、センターステイの破断は許容するものとした。

道路桁支承は片側1支承線あたり4基設置されている(図-2)が、道路桁両外側(G1桁)と中央分離帯側(G4桁)の支承が多く損傷する結果となった。

補剛トラス部材は、端支点付近と主塔部の主横トラス上弦材、中弦材の構成板要素の一部の塑性化であったが、解析モデルに反映できていない部材などの考慮、およびFEMモデルによる損傷程度の検討を行った結果、予想される損傷は軽微で供用性、修復性に影響を与えないものと判断し、損傷を許容するものとした。

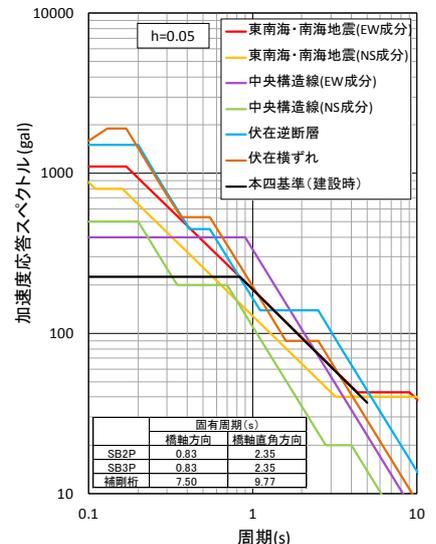


図-1 設計地震動と代表的な固有周期

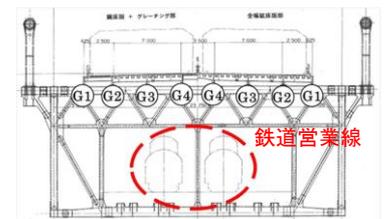


図-2 道路桁支承の配置

キーワード 道路鉄道併用橋, 吊橋, 耐震補強, 本四連絡橋

連絡先 〒651-0088 兵庫県神戸市中央区小野柄通4-1-22 TEL078-291-1071

FAX078-291-1087

表-2 耐震照査結果総括表

構造	構造要素	照査項目	照査結果
上部構造	補剛トラス	安定照査／降伏照査	安定 / <b>主横トラス10箇所降伏</b>
		部材照査	<b>損傷</b>
	主塔	安定照査／降伏照査	安定 / 降伏しない
		部材照査	損傷しない
		(水平材)せん断照査 (基部アンカー部)	降伏しない
	リンク	タワーリンク	耐力OK
		エンドリンク	耐力OK
	ウィンド宙	タワー部	耐力・移動量OK
		アンカレイジ部	耐力・移動量OK
	サドル	滑り照査	滑らない
	エンドストッパー	遊間量照査	衝突しない
	道路桁支承	変位照査	0基 / 880基
耐力照査		<b>83基 / 880基</b>	
破断照査		<b>12本 / 12本</b>	
センターステイ		破断照査	破断照査
主ケーブル	ハンガー	ケーブル降伏照査	耐力OK
		安定照査 (基礎底面浮上り、鉛直支持)	安定
下部構造	部材照査 (各ケーソン頂版照査)	SB2P,SB3P照査OK	

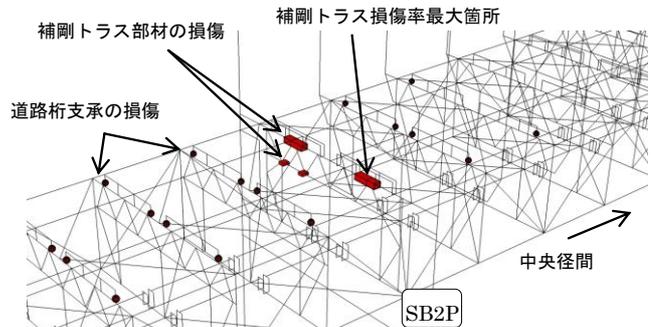


図-3 トラス部材等の損傷部位  
(下津井瀬戸大橋 SB2P 主塔近傍)

SB1A		SB2								中央径間中央↓		
径間番号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
下り線	G1	-	Y	X	-	Y	X	Y	-	-	-	-
	G2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	G3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	G4	-	Y	X	-	Y	X	Y	-	-	-	-
上り線	G4	-	Y	X	-	Y	X	Y	-	-	-	-
	G3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	G2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	G1	-	Y	X	-	Y	X	Y	-	-	-	-

(1)道路桁支承の損傷を許容しない解析 (損傷 62 基/全 880 基)

SB1A		SB2								中央径間中央↓	
径間番号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
下り線	G1	XY	XY	XY	XY	XY	XY	XY	XY	XY	XY
	G2	Y	Y	XY	XY	Y	Y	Y	XY	XY	Y
	G3	Y	Y	XY	XY	Y	Y	Y	XY	XY	Y
	G4	XY	XY	XY	XY	XY	XY	XY	XY	XY	XY
上り線	G4	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	G3	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	G2	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	G1	Y	Y	XY	XY	Y	Y	Y	XY	XY	Y

(2)道路桁支承の損傷を許容した解析 (損傷 337 基/全 880 基)

図-4 道路桁支承損傷の有無による解析結果の違い(SB1A～中央径間中央までの表記)

X	橋軸方向損傷
Y	直角方向損傷
XY	両方向で損傷

4. 道路桁支承の補強箇所選定の考え方

補剛トラスの一部の損傷とセンターステイの破断は許容することとしたため、補強箇所は道路桁支承のみとなる。道路桁支承も、前述のトラス部同様に損傷を許容できないか検討した。照査で用いた解析モデルは、全支承（880 基）をモデル化しており、そのモデルを道路桁支承の損傷が再現できるようにし、橋全体の支承損傷の拡がりを調べた。具体的には、ある支承が損傷した時、当該支承が負担していた地震慣性力が隣接する支承に移り、損傷が隣接支承へ連鎖的に拡がる程度を確認した。一方、支承損傷を許容しない場合は、前章の照査で用いたモデルを用いた。この場合、各支承で地震慣性力を負担することとなり、結果的に支承耐力を超過する箇所が補強対象となる。

一例として東南海・南海地震時の、支承損傷考慮の有無の違いを図-4 に示す。支承損傷を許容する場合は、側径間の全支承が損傷する結果となった。この場合、図-2 に示すように、大部分の支承が鉄道営業線上に位置しており、大規模地震後の速やかな点検、補修が困難であるとともに、損傷時支承を構成する部品の鉄道営業線への落下なども懸念される。よって、道路桁支承は、損傷を許容せず、補強を行うこととした。橋軸方向に対する補強構造の一例を図-5 に示す。

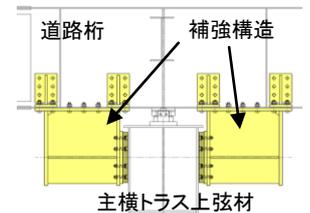


図-5 補強構造図  
(橋軸方向、側面図)

5. おわりに

南北備讃瀬戸大橋も同様の検討を行った結果、道路桁支承のみが補強設計箇所となった。今回、紙面の都合で紹介出来なかったが、補強構造の検討では、新規取付部材のトラス箱断面内部の防錆上の配慮を行った。これについては、別の機会に紹介することとしたい。

謝辞

本耐震性能照査、補強設計の実施に際しては本四耐震補強検討委員会（委員長：家村浩和京都大学大学院名誉教授）にてご検討頂き貴重なご意見を頂いた。ここに記して深く謝意を表す。