

幸魂大橋（斜張橋部）の耐震補強について

北首都国道事務所 管理課 秋田直樹

1. はじめに

我が国では、近い将来、大規模地震の恐れがあると指摘されている。国土交通省では、被災時に有用な役割を果たす緊急輸送道路の橋梁について耐震補強を重点的に実施している。

東京外かく環状道路は、緊急輸送道路として大規模地震時における救助・救援活動や緊急物資輸送のために極めて重要な役割を担っている（図-1）。

幸魂大橋はこの東京外かく環状道路において、荒川を渡河する橋梁である（写真-1）。この幸魂大橋のうち、斜張橋部は特殊な構造等を有する橋梁であり、3 箇年プログラムにおいて耐震補強の検討対象とされた。

2. 対象橋梁の概要

幸魂大橋斜張橋部の全体一般図を図-2 に示す、本橋は、東京外かく環状道路の専用部（東京外環自動車道）と一般部（国道 298 号）が一体構造となる斜張橋が、内回りと外回りで 2 橋並設されるという特殊な構造形式である。

本橋は、2 径間連続鋼斜張橋である。主塔と主桁は剛構造であり、支承を介して橋脚と結合されている。橋脚は P11～P13 のいずれも RC 壁式橋脚であり、基礎形式は、P11 が鋼管矢板基礎、P12,P13 がニューマチックケーソン基礎である。

本橋は、昭和 55 年道路橋示方書を設計基準としているため、レベル 1 地震動（供用期間中の発生確率が高い地震動）に対しては、耐震性能を確保するように設計されているが、レベル 2 地震動（発生確率は低いが大きな強度をもつ地震動）に対しての設計はなされておらず、耐震性能の確認の必要性が生じた。

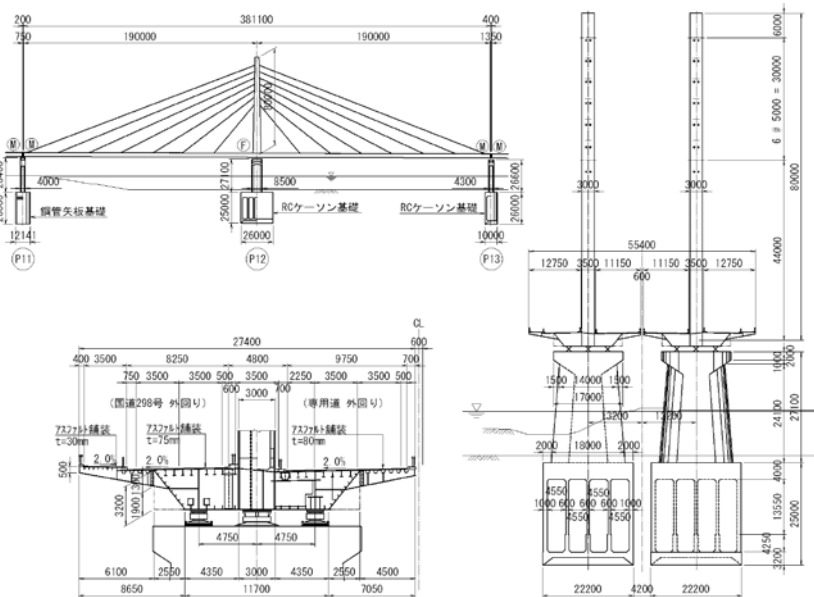


表-1 レベル 2 地震動に対する各構造要素の損傷レベルの区分

各構造要素	損傷度		
	軽微な損傷 ← → 重度な損傷		
	損傷レベル I	損傷レベル II	損傷レベル III
主塔	発生応力度が降伏応力度をわずかに超過した状態。ただし、弾性域での局部座屈は生じない状況	塑性化の進展が大きいものの、塔全体としての耐力と変形性能は、安定した領域にある状態	主塔全体系としての耐力が低下し始めた状態
支承	作用水平力が構成部品内最小の降伏耐力を超過した状態		作用水平力が構成部品内最小の最大耐力を超過した状態
RC橋脚	コンクリートのひび割れや鉄筋の降伏は生じているものの、最大耐力に対してはまだ十分な余裕を有している状態	コンクリートのひび割れや鉄筋の塑性化の範囲は広がるものの、橋脚全体系としての耐力と変形性能は、安定した領域にある状態	橋脚全体系として耐力が低下し始めた状態

3. 幸魂大橋耐震補強検討委員会の設立

耐震性能の検討の結果、レベル 2 地震動の耐震性能を有していないことが判明した。概要で述べたとおり、幸魂大橋の斜張橋部は特殊な構造であるため、耐震補強対策の検討・立案に際し、特殊橋梁の耐震問題に精通した有識者の意見と指導を反映させることとし、委員会を設立した。

本委員会では、耐震要求性能、入力地震動、各部材の地震時挙動、損傷を受ける部位、隣接する連続桁との衝突・損傷、耐震性の確保に関して検討を行った。

4. 耐震補強の基本方針

委員会での検討の結果、目標耐震性能を、レベル 2 地震動による損傷を限定的なものにとどめ、緊急道路としての機能の回復を速やかに行い得るものと設定した。具体的な目標としては、落橋に対する安全性を確保するとともに、災害復旧用の緊急車両が地震後速やかに通行可能となること、一般車輛の通行を可能とするための機能回復が応急修復程度で対応できること、供用しながら恒久的な修復が実施できることとした。

目標耐震性能を満足するためには、橋梁を構成する各構造要素の限界状態の設定が必要となる。その前段として、有識者からの意見を踏まえてレベル 2 地震動に対する各構造要素の損傷レベルの区分と要求性能を表-1 に示すとおり設定した。

入力地震動は、内陸直下型地震（レベル 2 地震動タイプ II）と、プレート境界型地震（レベル 2 地震動タイプ I）を用いることとした。

解析モデルは鋼製の主塔や主桁の断面形状が複雑であり、レベル 2 地震時に塑性化する可能性が考えられたため、適切に考慮できる非線形はり要素を用いた。

5. 主な構造の耐震性能照査結果

(1) 主塔の照査結果

主塔は、橋軸直角方向のタイプ I 地震動の影響が大きく、基礎部から約 26m の範囲において局部座屈が発生することに加え、SM570 材の高強度鋼の使用が影響して降伏後のじん性が乏しい結果となった。そのため、主塔の変形を抑えるための塑性化対策を行うこととした。

(2) 支承の照査結果

支承の照査結果を表-2 に示す。ピボット支承、ピボットローラー支承、ペンデル支承については、損傷レベル I もしくは損傷しないとの結果となり補強等の対策は不要と判断し

表-2 支承の照査結果

支承形式	支点	応答量	地震方向	最大応答値	抵抗値		損傷レベル
					降伏耐力	最大耐力	
ピボット	P12	水平力(kN)	LG	56737	50460	85782	I
			TR	53935			I
ピボットローラー	P11	水平変位(mm)	LG	110	110	230	I
		水平力(kN)	LG	2565	1512	2570	
	P13	水平変位(mm)	LG	106	110	230	0
		水平力(kN)	LG	0	1512	2570	
ペンデル	P11	引張力(kN)	LG	14476	20937	27561	0
	P13		LG	6035			0
ウインド	P11	水平力(kN)	TR	19822	11520	19584	III
	P13		TR	17621			III

た。ウインド支承は、発生する橋軸直角方向最大水平力が P11 で最大耐力 (19,584kN) を超過するため、構成部品が破断するなど可動化することが考えられた。主桁が横方向に滑るとペンデル支承への負荷が急増し、ペンデル支承の破断、主桁のアップリフトに繋がる恐れがあり、緊急車両が通行できなくなる可能性が考えられる。したがって、ウインド支承の損傷レベルはIIIと判断し、最大耐力には達していない P13 も含めて補強を行うこととした。

(3) 橋脚の照査結果

P11、P12、P13 橋脚全て橋軸直角方向はせん断破壊型であるが、軸方向鉄筋の段落し部を含めた橋脚全体にわたって最大せん断力がせん断耐力を超過する結果となった。したがって、全ての橋脚を損傷レベルIIIと評価し、耐震補強を行うこととした。

6. 耐震補強設計

耐震性能の照査結果より、補強必要箇所および補強内容についてまとめたものを図-3 に示す。

(1) 主塔の耐震補強

主塔の耐震補強としては、タイプ I 地震時の応答を弾性応答にとどめる事が困難であったため、残留変位を極力小さくする対策を選定した。図-4 に示すとおり、基部から 27.4m の範囲において補強リブを外面に設置することで、横リブ、ダイアフラムとの干渉を避け連続化させることで橋軸直角方向の曲げ剛性を約 15%増加させる工法を採用した。

このような補強を行うことでじん性が約 30%向上することに加え、タイプ I 地震時における塔頂の残留変位が耐震補強未対策時の 27cm より約 20%小さい 21cm に低減されることとなった。

(2) ウインド支承の耐震補強

ウインド支承は、上部構造の鉛直反力を受けていないことを利用して上沓のみを交換する工法を採用した (図-5)。交換に際しては、支承直下の台座コンクリートをはつりながら下沓をジャッキダウンしてスペースをつくり、上沓を交換する方法とした。

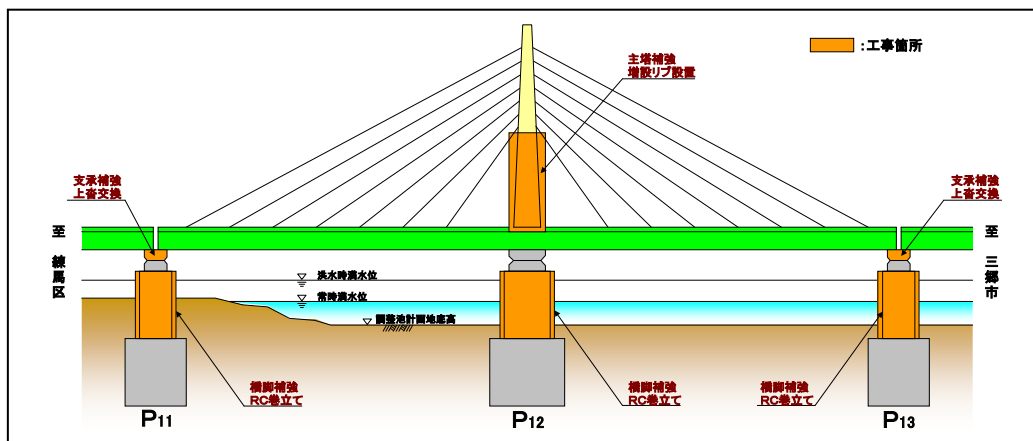


図-3 補強必要箇所と補強内容

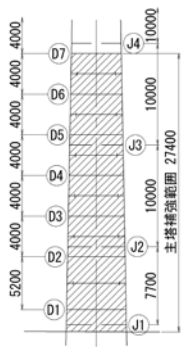


図-4 主塔の補強構造

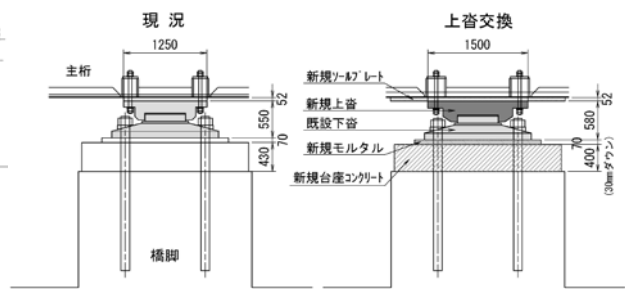


図-5 P11、P13 ウィンド支承の上巻交換

(3) 橋脚の耐震補強

P11、P12、P13の全ての橋脚ともRC巻立て工法を採用することとした。なお、P12及びP13橋脚では荒川第一調整池内のため水を締切りRC巻立て補強を実施する必要があり、従来の鋼矢板施工では工期工費が膨大となった。そこで、鋼製函体による水の締切りを行い、下流側で使用した後に上流側に転用する工法の採用により、工期工費を削減することとした。

代表としてP13橋脚のRC巻立て構造と鋼製函体の構造を図-6に示す。P13橋脚では、巻立て厚を250mmとし、PC鋼棒を貫通させ、密な帯鉄筋の配置をすることでせん断耐力とじん性を向上させた。水締切り用の鋼製函体は、台船で橋脚の位置まで曳航し、ケーソン上に着底させて止水する方法とした。

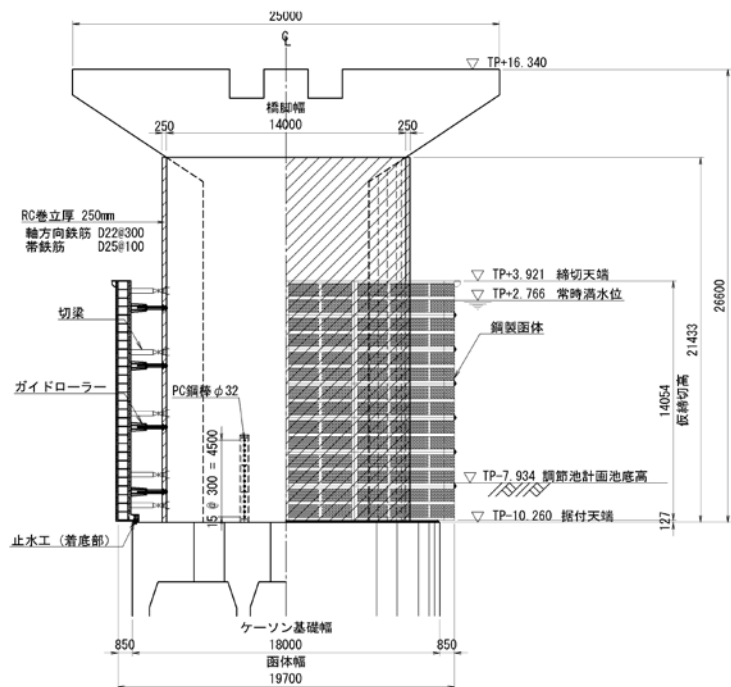


図-6 P13橋脚のRC巻き立てと鋼製函体の構造

7. おわりに

現在、幸魂大橋斜張橋については平成21年度に東日本高速道路株式会社と耐震補強に係わる協定を締結し、平成21年度から順次上記で述べた耐震補強を実施しており、平成23年度内に全ての耐震補強が完了する予定となっている。

しかし、北首都国道事務所が管理する国道298号においては、地震防災対策強化地域内においてH8同示の基準に基づく耐震補強が完了していない橋梁が13橋残っており、今後順次耐震補強を行っていくこととしている。