

港大橋耐震性能向上における端部落橋防止システム検討

阪神高速道路株式会社 正会員 ○徳増 健 金治 英貞 宮本 義広 森本 亘

1. はじめに

1974年7月に竣工した港大橋(写真-1: 橋長980m、ゲルバートラス橋)は、阪神高速道路(株)が管理している中では最も古い長大橋であり、現在建設設計当時の地震動の約4倍に相当する、「レベル1」の上町断層系地震波および南海・東南海地震波に対し、合理的、経済的となる耐震性能向上法を検討し、施工している²⁾。港大橋端部においても、橋体が地震力を受けた場合、橋軸方向に対し建設当初に想定された地震変位量よりも大きな応答値が発生し、現状のままでは端支承の機能喪失による港大橋全体系の崩壊を招くことが考えられるため、対策を検討する必要があった。



写真-1 港大橋全景

2. 現橋端支承構造

端支承は、鉛直反力に対しては橋端部両側の2個の鉛直支承で抵抗し、橋軸直角方向の反力に対しては中央にある水平支承で抵抗する機構になっている(図-1参照)。端支承の設計反力は、港大橋の構造上、上揚力による鉛直支承の破壊が即刻港大橋全体の破壊につながることを考慮し、2個の鉛直支承の中で1個が破壊しても抵抗できるよう、上揚力を1.5倍に割増している。また、架設時での橋全体のねじれによる誤差を $\Delta h=50\text{mm}$ として反力を加算している。また鉛直支承のローラーは本橋の伸縮量250mmに、鋼製橋脚の地震時の変位量200mmを加算して450mmの移動が可能な構造としている。

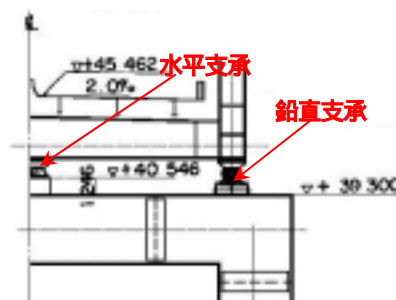


図-1 端支承設置状況

耐震補強設計を行うにあたり、各部材に働く死荷重断面力、地震荷重断面力を把握するため、地震応答解析を行った。補強設計に用いる地震波は、大阪港周辺の断層から、それぞれの断層が活動した際、最も危険な組合せとなる、上町断層系地震波とした。また近接構造の影響として前後のアプローチ桁の質量効果も考慮し検討にあたった。表-1に端部各支承に対する地震時挙動結果を示す。

3. 端部変位制限装置構造検討

鉛直支承の橋軸方向可能変位量は $\pm 450\text{mm}$ であるが、解析の結果最大1738mmの変位量が発生すると予測され、現状では機能を喪失する可能性があることが判った。そこで、鉛直支承の変位による機能損失を防ぐため、地震時変位量を移動可能量以下になるよう、港大橋端部に橋軸方向の変位制限装置を設けることとした。

変位制限装置の設計荷重は、橋脚の保有水平耐力を基準に、それ以上、かつ橋脚が崩壊しないよう脚10ey相当断面力以下になるよう設定した。また、突起水平力を受ける範囲は、突起上端から弦材下端までの高さとし、その範囲を緩衝ゴムでカバーする。許容応力度は各材質、板厚での降伏応力を基準とした終局強度で、またせん断降伏応力は、 $\sigma_y/\sqrt{3}$ と設定する。

表-1 各端部支承の地震時挙動結果

(a) 応答応力結果

(b) 応答移動量結果

単位:tf						
	脚		設計荷重	耐力	応答反力	判定
鉛直支承	湾P10 (築港側)	東	1100	1870	1625	OK
		西	1100	1870	2302	NG
	湾P10 (築港側)	東	-1710	-2907	-1881	OK
		西	-1710	-2907	-2952	NG
	湾P13 (南港側)	東	1100	1870	2596	NG
		西	1100	1870	2978	OK
	湾P13 (南港側)	東	-1710	-2907	-2006	OK
		西	-1710	-2907	-2098	OK

単位:mm							
		+方向			- 方向		
		設計移動量	応答移動量	判定	設計移動量	応答移動量	判定
鉛直支承	湾P10	450	1367	NG	-450	-1632	NG
	湾P13	450	1019	NG	-450	-1738	NG
伸縮装置	湾P10	360	1367	NG	-360	-1632	NG
	湾P13	360	1019	NG	-360	-1738	NG
落橋防止装置	湾P10	800	1580	NG	-450	-1398	NG
	湾P13	800	1516	NG	-450	-1243	NG
トラス遊間	湾P10	—	—	—	-1801	-1632	OK
	湾P13	—	—	—	-1798	-1738	OK
桁かかり長	湾P10	2900	1580	OK	—	—	—
	湾P13	2950	1516	OK	—	—	—

キーワード 端支承、負反力、耐震補強、端部変位制限装置、負反力対策ケーブル

連絡先 〒541-0056 大阪府中央区久太郎町4-1-3 阪神高速道路(株)交通環境室 TEL:06-6252-8121

端部変位制限装置を写真-2 に示す。所定荷重での破壊箇所は、港大橋本橋トラス部、およびアプローチトラス部の合計荷重を支持する変位制限装置基部の溶接部になるよう設計している。港大橋端横桁からの荷重を支持する受圧部突起は、変位制限装置構造の破壊以前に局部的な破壊が生じないように設計した。

4. 負反力対策装置検討

港大橋は中央径間に「吊桁部」を有するゲルバートラス橋であるため、死荷重状態において端部鉛直支承に上揚力が働く。地震応答解析を行った結果、端部鉛直支承の上揚力は最大でも、当初設計でのセットボルトおよびアンカーボルトの許容引張応力度以下である約29,000kN(3,000tf)であることが確認された。しかしながら、端部鉛直支承が破壊した場合、上揚力を支持する機構がなくなり、中央径間に倒れこむ形で全体系の破壊を引き起こす可能性があるため、端部鉛直支承が破壊された場合の対策装置として端部に、小さな断面でも荷重を支持できるケーブル形式の負反力対策装置を設置することとした。

ケーブルの設計荷重は動的応答解析から求めるものとした。表-2 に今回行った解析ケースを示す。鉛直支承に下向きの鉛直力(正反力)が生じる場合は、鉛直支承が破壊していても荷重を支持できるものとして、ケーブルの機能は有効とし、鉛直支承に上向きの鉛直力(負反力)が生じる場合、鉛直支承が破壊していれば荷重を支持することができないものとし、ケーブルの伸び剛性のみ有効と想定した。また、ケーブルに対し不利になる活荷重状態(全径間満載、中央径間満載)の2ケースについて特性確認のための解析を行った。さらに、ケーブル断面積(伸び剛性)により張力が変化するため、最適となるケーブル断面照査を行った。

表-3 に解析結果を示す。「素線数 337 本死荷重」は「素線数 337 本死荷重 + 中央径間活荷重満載」よりも最大張力は小さいが、「素線数 337 本 死荷重 + 全径間活荷重満載」より大きくなる場合があることや、最大張力が確認される時間はわずかであり、死荷重状態が平均的な数値となっていることが確認できたことなどから、活荷重は考慮しないこととした。また、「素線数 337 本 死荷重」と「素線数 301 本 死荷重」の最大張力を比較したところ「素線数 301 本」は「素線数 337 本」より、約3%低下するが、これはケーブル断面積変化量(約11%)と比べて小さい。以上のことから、負反力ケーブルは「素線数 301 本」を用い、ケーブル設計張力には「素線数 301 本 死荷重」の中で最も大きな張力である2655tfを用いた。

参考文献 1) 港大橋工事誌,(社)土木学会,1975.3
2) 例えば 金治 英貞 他, 世界第 3 位の長大トラス橋, 港大橋のレトロフィット 損傷を制御する設計を導入し対震性能を向上,土木学会誌,2004 10

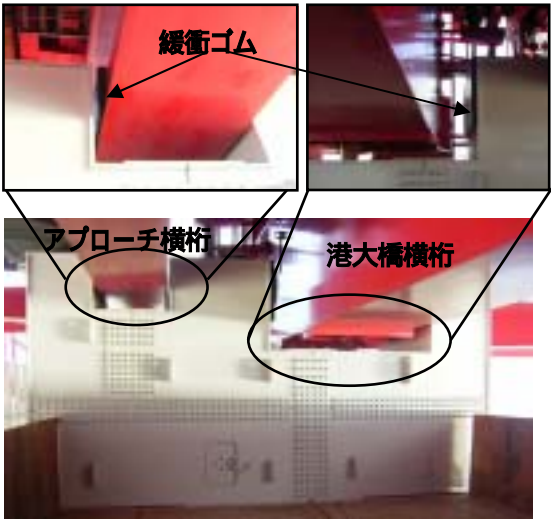


写真-2 端部変位制限装置概略

表-2 負反力対策ケーブル解析ケース

ケーブル断面積(1本当り)	荷重状態
13000mm ² 素線数337本相当	死荷重
	死荷重 + 活荷重(中央径間満載)
	死荷重 + 活荷重(全径間満載)
11600mm ² 素線数301本相当	死荷重

表-3 負反力対策ケーブル最大張力解析結果

ケーブル断面 (素線本数)		荷重状態	単位:tf			
			地震応答		静的荷重 + 地震荷重	
337本相当	死荷重	東	湾P10	湾P13	湾P10	湾P13
		西	1696	1870	1701	1874
	死荷重 + 中央径間活荷重満載	東	2735	1966	2739	1970
		西	1788	1983	2330	2525
	死荷重 + 全径間活荷重満載	東	2719	1986	3261	2528
		西	2137	2127	2144	2134
301本相当	死荷重	東	2220	1702	2227	1708
		西	1595	1824	1600	1828



図-2 負反力対策ケーブル