

供用後90年以上経過した跨線橋 (国道2号天神橋) の長寿命化修繕計画について

佐治 有基

近畿地方整備局 木津川上流河川事務所 調査課 (〒518-0723三重県名張市木屋町812-1) .

国道2号天神橋は、供用後90年以上経過したJR山陽本線を跨ぐ橋梁である。当該橋梁は、斜角23度を有する極端な斜橋で、昭和2年架設当初は下路式アーチ構造の橋梁のみであったが、昭和35年の複々線化に伴う改修工事にてRC桁橋と2径間連続鋼板桁橋を前後に追加し、年度も形式も異なった非常に複雑な混合橋であり、平成26年の橋梁定期点検において主桁、下横溝、支承等の鋼部材の腐食による変形・欠損、コンクリート部材の剥落・鉄筋露出による断面欠損等が判明し健全度Ⅲ判定となった。これを受けて平成27年度より損傷に応じた部分的な補修を実施してきたところであるが、非常に古い橋でありかつ構造が複雑で各部材の応力状態や品質状況が不明であるため、今後の長寿命化修繕計画の策定のために橋梁各部材の状況把握の調査及び分析を実施し、現状での総合的な健全度評価及び今後の劣化予測を実施したので、高齢化した道路ストックの長寿命化を推進する一事例として報告する。

キーワード 復元設計, 天神橋, 詳細調査, 橋面防水

1. はじめに

国道2号天神橋は、昭和2年(1927)に架設された跨線橋である。JR須磨駅の東1kmの地点に位置し、国道2号がJRを跨ぐ立体交差橋梁である。かつては、神戸市電の電気軌道が通り、昭和43年に須磨駅一衣掛町間が廃止されるまで、天神橋を越える市電の姿は須磨を代表する点景であった。

本橋は、H7年に兵庫県南部地震を経験し、架設から93年が経過した高齢化橋梁である。「海浜公園須磨天神橋B0補修(2016.3.30~2023.2.1)」にて大規模修繕工事が実施されており、橋脚・橋台・擁壁・RC桁・RC床版・のびわれ補修、断面修復、剥落防止対策、工部材の全塗装塗替、あて板補修等が実施されている。



図-1 国道2号天神橋位置図

2. 天神橋の概要

天神橋は1927年(昭和2年)に竣工し、当時は神戸市路面電車も供用していたが、33年後の1960年(昭和35年)にJR複々線化に伴い現在の構造に改築された。

天神橋の総延長は247.73m、跨線橋とそこに至るスロープすなわち擁壁・盛土工部からなり、跨線橋長77.15m、神戸側土工部72.02m、明石側土工部98.56mである。本橋の特徴としては、JR山陽本線を斜角23度で交差し、二つの単元アーチ構面は橋軸方向に大きく離れており、上部工は下路式アーチ・鋼板桁・RC桁で構成された混合構造となっており、多柱式のRCラーメン橋脚で支持されている。このうち鋼板桁部はJRの複々線化(S35)に伴い一部撤去されたラーメン橋脚の代わりとして改修・追加されたものである。

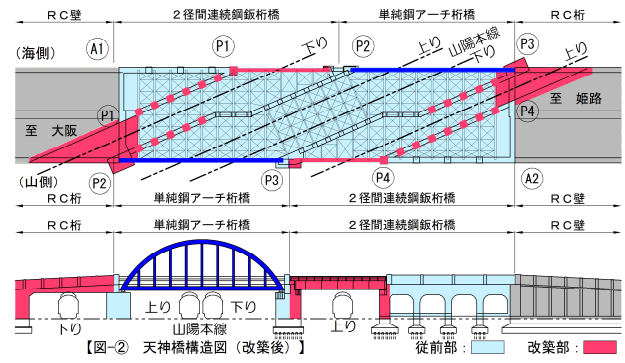
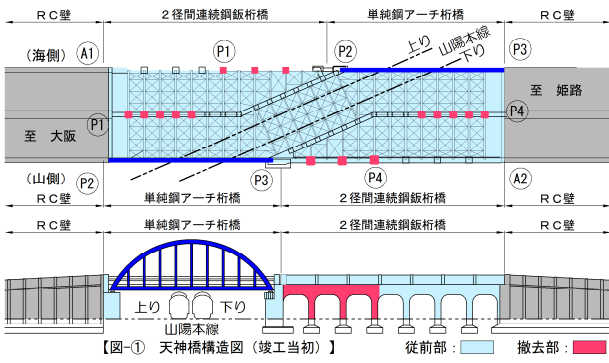


図-2 天神橋の改築概要

3. 損傷状況

2019年度定期点検結果をもとに損傷概要を整理した。補修工事期間中に行われており、主桁等の鋼材腐食がⅢ判定、コンクリートのひびわれ、剥離・鉄筋露出などがⅡ判定(うきにⅢ判定有)として報告されている。

①上部構造：鋼部材

主桁・下横構、支承およびアーチ部材において腐食が著しく、減肉、断面欠損、一部では破断が生じている。床版からの漏水や飛来塩分の影響と推測される。早急に耐力回復を目的とした措置を行う必要がある。また、橋面防水の実施も検討する必要がある。

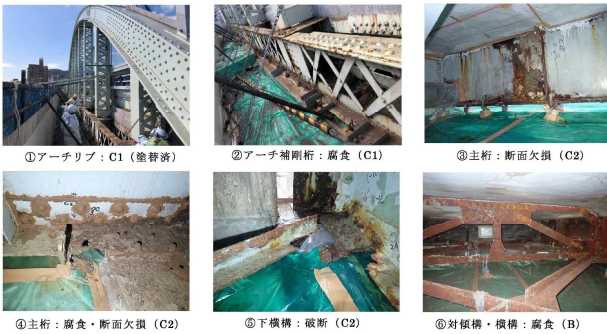


写真-1 鋼部材の損傷写真

②上部構造：コンクリート部材

RC桁については、第2、4径間にうき(C2判定)が見られる。施工不良や重交通が原因と推測される。耐力回復を目的とした措置を行う必要がある。



写真-2 コンクリートの損傷写真

③下部構造：橋台

橋台擁壁、柱部・壁部において、うき、剥離・鉄筋露出、ひびわれ(C1)が生じている。伸縮装置からの漏水、施工不良(かぶり不足等)、乾燥収縮が原因と

推測される。これについては「海浜公園須磨天神橋B0補修(2016.3.30~2023.2.1)」にて補修済みである。



写真-3 橋台の損傷写真

④橋面・防護柵・地覆・伸縮装置

橋面コンクリート舗装は前回点検時に舗装の異常がみられたが、H29(2017)に伸縮装置とあわせてR1年度定期点検時には補修済みであった。防護柵、地覆については減肉を伴う腐食(C1判定)が見られ、路面排水および雨水の滞水が原因と推定される。耐久性確保を目的とした措置を行う必要がある。前回点検時にS1として報告されていた損傷(剥離・鉄筋露出、うき等)は補修されていたが、再発している箇所もあった。



写真-4 橋面等の損傷写真

⑤支承本体、アンカーボルト、落橋防止システム

支承本体およびアンカーボルトにおいて前回点検からおおきな進捗は見られないが、腐食が著しく、塗膜は剥がれ、一部に板厚減少・欠損が生じている。(C2判定)。



写真-5 支承部の損傷写真

4. 現況構造の把握

(1)構造調査(耐久性能の確認)

1)鋼材関係調査

①鋼材断面欠損調査

調査概要

鋼材の健全度評価の指標を得るため、超音波厚さ計等による断面欠損調査(板厚測定)である。代表部材の減厚程度の顕著な箇所をランダムに調査した。なお、すでに孔食している漏水が顕著な部分は当て板補修が予定されているため対象外とし、できるだけ漏水の影響を受けない一般的な箇所を選定した。

$$\text{板厚減少率}(\alpha) = (\text{ta}-\text{to}) / \text{ta}$$

(ここに、ta:健全部板厚, to:減肉部板厚)

調査結果と考察

各部材の板厚減少率は 0.2~0.3 程度であるが、中でも主桁下フランジの減少率が最も高い。別途復元設計結果により、天神橋の応力度は許容値に対して概ね 20%程度の余裕がある断面となっている。また、部分的な板厚減少でもあることから今すぐ耐荷性能に影響を及ぼすこ

とはないものと考えられる。

②鋼材硬さ試験

調査概要

天神橋は鋼材の材質が不明であり、竣工当時の基準により全て SS400 クラスと想定されるが、今後の耐荷力や耐久性の評価、補修・補強の基礎資料とするため、機械的性質(引張強度)を推定するための硬さ試験を実施する。

調査結果と考察

ビッカース硬さ(HV)の平均値とし、この値より JIS換算表を用いて引張強さを求めた。引張強さは、412~604N/mm²であり、天神橋が建設された年代より推測される“SS400”の規格値(400~510)以上の値であり、構造部材としての所定の強度を保有していることが確認できた。なお、表-1⑦⑧⑨については改築桁(S35)、それ以外は竣工時(S2)に製作された部材であるが、年代による硬さ、強度の違いはとくにみられない。

Items Test Rule	材質 Material Grade	部材区分 (年度)	ビッカース硬さ HV				引張強さ 換算値 N/mm ²	規格値 (SS400)			
			1回目	2回目	3回目	Ave		SS330	SS400	SS490	SS540
①アーチ補剛桁 (上フランジ)	SS400 (想定)	建設 1927(S2)	196	176	195	189	604	330~430	400~510	490~610	540 ≤
②アーチ補剛桁 (下フランジ)	SS400 (想定)	建設 1927(S2)	156	144	157	152	495	330~430	400~510	490~610	540 ≤
③アーチ吊材 (下端)	SS400 (想定)	建設 1927(S2)	139	148	132	140	455	330~430	400~510	490~610	540 ≤
④主桁(単純桁) (上フランジ側)	SS400 (想定)	建設 1927(S2)	152	155	169	159	514	330~430	400~510	490~610	540 ≤
⑤主桁(単純桁) (下フランジ側)	SS400 (想定)	建設 1927(S2)	145	151	148	148	481	330~430	400~510	490~610	540 ≤
⑥改築 I 桁 (上フランジ側)	SS400 (想定)	改築 1960(S35)	140	142	149	144	464	330~430	400~510	490~610	540 ≤
⑦改築 I 桁 (下フランジ側)	SS400 (想定)	改築 1960(S35)	142	149	146	146	473	330~430	400~510	490~610	540 ≤
⑧改築横桁 (上フランジ側)	SS400 (想定)	改築 1960(S35)	175	194	182	184	590	330~430	400~510	490~610	540 ≤
⑨主桁(二径間) (上フランジ側)	SS400 (想定)	建設 1927(S2)	158	162	156	159	514	330~430	400~510	490~610	540 ≤
⑩主桁(二径間) (下フランジ)	SS400 (想定)	建設 1927(S2)	123	123	131	126	412	330~430	400~510	490~610	540 ≤

表-1 鋼材硬さ試験調査結果一覧表

示方書	鋼道示 1939(S14)	鋼道示 1956(S31)	溶接鋼道示 1957(S32)	鋼道示/溶接鋼道示 1964(S39)
鋼板・型钢	SS41	SS41	SS41, SM41, SM41W	SS41, SM41, SM41W, SM50A

表-2 使用鋼材の変遷

③鋼材引張試験

調査概要

天神橋の鋼材材質推定、静的引張強さほか鋼材の力学特性把握のために引張試験を実施。(JIS Z 2241)

支間中央の単純桁部のウェブとし、応力に余裕があり、輪荷重が直接載荷しない箇所を選定した。120×120mmのブロックで切り取り、引張試験片を 3 本作成し、引張強さ、耐力、伸び、SS線図および弾性率を測定する。

調査結果

降伏点は全て建設当時の想定使用鋼材である SS400 のJIS規格値 245N/mm² 以上、引張強さも所定の範囲内(400~510N/mm²)、ヤング係数も設計値とほぼ等しく橋梁鋼材としての所定の品質、強度であることを確認した。

・降伏点(平均値) : 266N/mm² > 245N/mm² ・引張強さ(平均値) : 444N/mm² (400~510N/mm²)

・ヤング係数 : 200, 333N/mm² > 200, 000N/mm²

④鋼材化学成分分析

調査概要

鋼材の化学成分の確認、耐荷性能・耐久性の評価、材料特性、溶接性の判断資料とする。主要元素の成分から炭素当量・溶接割れ感受性・硬化性などを評価する。(JIS G 0321) ※引張試験の供試体の端材を使用する。

金属の分析には通常ブロックまたは主要元素(C, S, Mn, P, S, ...)の成分を評価するものとし、本調査では、C, S, Nは高周波燃焼法、それ以外はスパーク発光分光分析(OES)を実施する。

調査結果

SS400 の化学成分は P と S しか規定がなく、これについてはいずれも規格値を下回っており、規定を満足している。しかしそれ以外の元素については、SM 材としての規定を全て満足するには至らなかった。

■国道2号天神橋/応力頻度測定および動的載荷による耐荷力照査結果

(単位: N/mm²)

No.	部材	部位	断面	(CASE-1) 解析による照査					(CASE-2) 応力頻度による照査					(CASE-3) 動的載荷			備考			
				死荷重 σD	活荷重 σL20	死+活 σD+L	許容応力 σa	判定	死荷重 σD	頻度最大 σmax	頻度/解析	死+活 σD+max	許容応力 σa	判定	解析値 σ20ton	実測値 σ20ton		実測/解析		
① Ch-1	アーチ・補剛桁	上フランジ	4-L-203*203*19 (H-864×W-920)	26.3	-19.9	6.5	140	0.05	OK	26.3	-7.0	0.352	19.3	140	0.14	OK	-6.2	-1.3	0.21	*上側: 圧縮 (中路的)
② Ch-2		下フランジ		43.5	33.4	76.9	140	0.55	OK	43.5	13.0	0.389	56.5	140	0.40	OK	13.4	3.6	0.27	*下側: 引張 (中路的)
③ Ch-3	アーチ・吊材	下部	2-「300*90*9*13 (H-300×W-514)」	68.9	47.9	116.8	140	0.83	OK	68.9	8.0	0.167	76.9	140	0.55	OK	21.0	2.2	0.10	*引張部材
④ Ch-4	アーチリブ	上フランジ	Π (762*21, 2-610*22), 4-L-152	-25.2	-16.0	-41.3	-140	0.29	OK	-25.2	-9.0	0.561	-34.2	-140	0.24	OK	-7.1	-2.0	0.28	*圧縮部材
⑤ Ch-5	単純I桁	上フランジ	I-863(13)×318(9.5), 4-L-152	-57.0	-59.2	-116.2	-140	0.83	OK	-57.0	8.0	-0.135	-49.0	-140	0.35	OK	-25.6	1.7	-0.07	*床版埋設断面のため圧縮
⑥ Ch-6		下フランジ		57.0	59.2	116.2	140	0.83	OK	57.0	10.0	0.169	67.0	140	0.48	OK	25.6	3.7	0.14	*下側: 引張
⑦ Ch-7	改築I桁	上フランジ	I-400(19+15)×1900(12)×350(19+10)	-83.1	-41.0	-124.0	-133	0.94	OK	-83.1	-14.0	0.342	-97.1	-133	0.73	OK	-17.9	-4.1	0.23	*上側: 圧縮 (中路的)
⑧ Ch-8		下フランジ		97.6	48.1	145.8	140	1.04	NG	97.6	13.0	0.270	110.6	140	0.79	OK	21.1	4.4	0.21	*下側: 引張 (中路的)
⑨ Ch-9	改築横桁	上フランジ	I-175(22.8)×610(12.1)×175(22.8)	-86.3	-104.5	-190.8	-140	1.36	NG	-86.3	8.0	-0.077	-78.3	-140	0.56	OK	-40.5	2.3	-0.06	*床版埋設断面のため圧縮
⑩ Ch-10		下フランジ		86.3	104.5	190.8	140	1.36	NG	86.3	11.0	0.105	97.3	140	0.69	OK	40.5	3.6	0.09	*下側: 引張
⑪ Ch-11	鋼二径間連続I桁	水平補剛材	I-316(9.5)×863(9.5)×316(9.5)	-28.2	-62.1	-90.3	-140	0.65	OK	-28.2	6.0	-0.097	-22.2	-140	0.16	OK	-18.8	1.2	-0.06	*床版埋設断面のため圧縮
⑫ Ch-12		下フランジ		28.2	62.1	90.3	140	0.65	OK	28.2	13.0	0.209	41.2	140	0.29	OK	18.8	3.5	0.19	*下側: 引張

表-3 応力頻度測定・動的載荷試験結果表

⑤ 応力頻度測定・動的載荷試験

調査概要

復元設計の結果を踏まえ、主要部材(アーチ、鋼I桁、主桁)について、供用荷重や既知荷重による耐荷力照査(ひずみ計測)を実施するとともに解析モデルの妥当性を検証する。新設橋脚部が反力を受けているかどうかも確認、応力頻度測定は、「応力頻度測定要領(案)H8.3」に準拠し、平日の連続3日間(計72時間)「ピークバレー法(15側点)」によってデータを取得・整理する。動的載荷は20tonの試験車両で実施する。静的載荷試験も実施。

■ 応力頻度結果と考察

別途実施した解析による照査結果(TL-20)において応力度超過となっていた改築I桁および横桁は、供用荷重による耐荷力照査では応力度を満足する結果となった。一方、活荷重について解析値と実測値を比べてみると、解析のフル載荷に比べて、応力頻度の割合は、20%~50%程度となっている。構造別にみると、アーチリブは突出し50%、補剛桁、改築I桁(中路的)は30~40%、床組み桁は10~20%である。(表-3)

■ 動的載荷試験結果と考察

解析値と実測値を対比すると、構造別の比率の傾向は応力頻度とほぼ同じであるが、アーチや補剛桁などでは20~30%、床組み桁で10%程度であり、応力頻度に比べるとさらに低い値となっている。

- ・アーチリブ、補剛桁: 0.27~0.28、
- ・改築I桁: 0.21~0.23、
- ・床組み桁(単純I、改築横、二径間I): 0.09~0.19

これまでの経験では、通常のI桁橋では、実測値/解析値は概ね、0.3~0.5程度の場合が多く、今回はこれと比べかなり低めとなっている。とくに、床組み桁の数値が低い、これは床版の影響が大きく寄与している可能性がある。天神橋の床版厚は400~600程度と非常に厚く、さらにI断面の上1/3程度がコンクリートに埋設されており、かなり剛性の高い断面となっている。しかし、解析ではこの床版の剛性を無視しているため、応力が大きめに出ていると考えられる。また、分厚い床版のため横分配効果が大きいことや、高欄・地覆・

舗装・遮音壁など、設計では抵抗断面として考慮していない部材の余剰効果や、旧多径間ラーメン橋脚と床版が一体構造となっていることも一因となっているものと思われる。

⑥ 表面塩分測定

調査概要

国道2号は天神橋は海岸線より200m以内に位置し、道路橋示方書の塩影響地域(地域区分C、対策区分Ⅲ)に該当する。鋼材の腐食は、橋面漏水のほか、飛来塩分による塩害の影響が懸念されるため、表面塩分濃度の把握が必要。

調査結果と考察

橋の外側では20mg/m³未満であるのに対し、内側では200mg/m³以上と10倍以上の高い数値がでていた。これは風による洗浄効果の有無による違いであると推定される。また、路下の列車の走行による巻き込み現象の影響も考えられる。

2) コンクリート関係調査

① 鉄筋腐食度調査

調査概要

RC構造物の鉄筋の腐食は、ひび割れの発生、剥離、鉄筋の断面欠損等により構造耐力の低下を引き起こすため、非常に重要である。したがって、床版・橋脚・橋台の鉄筋はつり調査とあわせて鉄筋の腐食状況を確認する。

調査結果

漏水が顕著に見られるが、鉄筋は腐食度Ⅰ、Ⅱと比較的健康であり、中性化も一部をのぞきほとんど鉄筋まで達していなかった。

② コア採取によるコンクリート試験

調査概要

RC構造物の材料の健全度、耐荷性能・耐久性の評価、および損傷と各種物性値の相関を確認するため、圧縮強度・静弾性係数・中性化・塩分含有量・水セメント比(W/C)・骨材分析等の室内試験を実施したものである。

調査結果と考察

RC床版部の圧縮強度は現行基準の24N/mm²以上であ

り、中性化もほぼ理論値通りで鉄筋位置での塩分も $0.8\text{kg}/\text{m}^3 < 1.2\text{kg}/\text{m}^3$ と発錆限界値以下であった。

RC ラーメン橋脚部の圧縮強度は14 箇所中 4 箇所が現行基準の $21\text{N}/\text{mm}^2$ 以上の値、残りの 10 箇所は $16\sim 18\text{N}/\text{mm}^2$ であり、施工時期の違い(建設・改築)や損傷程度(漏水、ひびわれ)による差はあまり見られない。静弾性係数も圧縮強度と同様若干低めである。 $(15\sim 17 < 23.5\text{N}/\text{mm}^2)$ 昭和 2 年の建設当時は強度の規定はなく、許容曲げ圧縮応力度 $(4.5\text{N}/\text{mm}^2)$ から 3 倍相当として換算すると $13\sim 14\text{N}/\text{mm}^2$ 程度であり概ね設計値以上の品質を確保できていたものと思われる。中性化も鉄筋位置までは進行しておらず、塩分濃度も鉄筋位置ですべて $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ 以下であった。一方、セメント量が $250\text{kg}/\text{m}^3$ 以下で現在の一般的なセメントと比べて少なく、水セメント比も高くなっているが、ASR は軽微であった。

③床版はつり調査

調査概要

天神橋は竣工当初、神戸市電が運行しており、旧軌道断面(バラスト部)が未改築のまま充填され凹部に滞水などが生じていることが考えられる。したがって、路面からののはつり調査により、床版厚、床版構成、旧軌道部の処理等を確認した。併せて中央分離帯部の情報 BOX(光ケーブル)の敷設状況についても確認した。

調査結果

中央分離帯の深さは約 200mm であり、情報 BOX 光ケーブル($\Phi 50 \times 9$ 条)が敷設されていることを側部より確認した。FEP 管は埋設シートと土により埋め戻され、保護コンクリートで蓋がされている。床版上面まで掘削し、 $\Phi 50$ コアで削孔を試みたが、既設配筋に干渉するため途中より $\Phi 25\text{mm}$ の小径コアに取替えて、床版貫通コアを採取した。断面構成は、調整コンクリートとみられる上層床版(35cm)と境界層(タール系)RC床版本体とみられる下層床版(35cm)を確認した。床版層厚については別途補修工事の 3D 測量断面とほぼ同じ厚さであることを確認した。旧軌道部の当初の構造は不明だが、床版上部はきちんとコンクリートが打設されている。おそらく、RC床版(35cm)に横断勾配の調整コンクリート(5~20cm)が敷設され、その上にアスファルト舗装と想定される。(H29 舗装工事にて、舗装厚は $14\text{cm}(\sim 17\text{cm})$ であることを確認)

3) その他調査

①擁壁変状調査・定点観測測量

調査概要

H26点検にて、堅壁と防護柵のうき、ひびわれの原因が「沈下・移動・傾斜」で S1 と判定されていることから、スラント、トランシット測量による傾き程度の確認および今後の経過観察・追跡調査のため測量点を設置した。

調査結果と考察

場所打ちの擁壁工は水平変位の基準は定められてい

ない。橋台工は、傾きではないが水平方向の変位の規格値($\pm 50\text{mm}$)が定められている。一方補強土では高さに対しての鉛直度(水平変位)として $0.03h(300\text{mm}$ 以内)の規格が定められている。あくまで参考ではあるが、今回の擁壁の水平変位はこれらの規格値を満足する程度の数値であることがわかった。ちなみに橋脚天端の地震時の残留変位の指標($h/100$)を当てはめてみると、P3 擁壁(KTA)と P2 擁壁(KTD)で若干数値を上回っていることがわかる。

②地質調査

調査概要

擁壁や橋台の沈下・変状の可能性が指摘されていること、また今後の耐震性能照査の際の地盤種別や液状化の有無の判定のためのボーリング調査を行った。

調査結果と考察

深度 $5\sim 6\text{m}$ 付近に N 値 $34\sim 50$ (平均 46) と密な締まり具合の砂礫層(洪積層 Dg1)が分布しているため、比較的深度の浅い位置に支持層(Dg1もしくは Dg2)があり、液状化の危険度の低い良質な地盤であることがわかった。

(2)復元設計

目的

天神橋には竣工当時の設計計算書が無く、当時の設計思想や設計荷重、応力状態が不明である。損傷原因が老朽化や材料劣化に起因するものだけでなく、耐火性能不足による可能性もあるため応力状態の把握は重要である。(橋梁 Dr 意見)したがって、当時の基準により復元設計を行い、応力状態を確認する。

復元設計方針

CASE-1) 当初モデル(昭和2年建設)

活荷重：自動車荷重(12t)、転圧機荷重($600\text{kg}/\text{m}^2$)、大正15年道路構造に関する細則案や当時の神戸市電500型電車も想定して、TL-12(当初)、TL-20(改築前)

CASE-2) 現況モデル(昭和33年改築)

活荷重：TL-20(当時)および TL-25(現行)

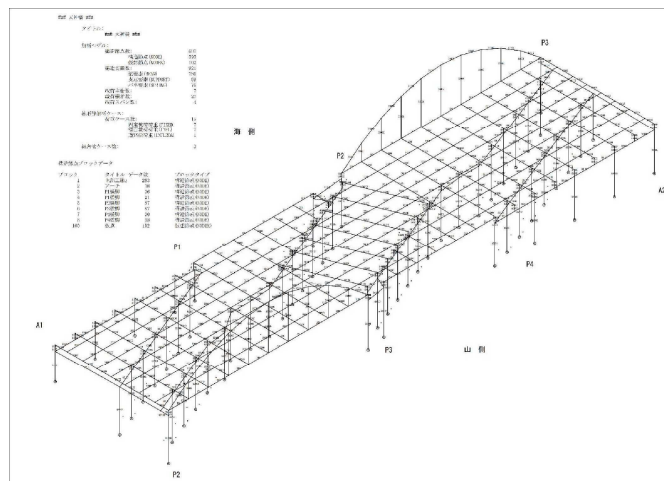


図-3 現況モデル

5. 補修設計

(1) 損傷状況の把握・原因究明

検討方針

定期点検および現地踏査、近接目視を基本とした評価・診断に加え、構造調査・復元設計で得た耐久性・耐荷性能を踏まえて損傷原因を究明する。

各部材の損傷原因

①鋼部材

鋼部材の主要な損傷は桁端部・支承部・I桁したフランジ・部材接合部等の顕著な腐食や断面欠損、孔食である。主たる損傷原因は床版からの漏水であると考えられる。これはアーチリブや改築I桁など漏水の起こらない箇所では竣工後90年(改築部は60年)以上経過するが顕著な腐食が起こらないことから裏付けられる。

一方、耐荷性能の観点からは、国道2号は港湾や工場からの貨物輸送など交通量と大型車が多い重交通路線であるが疲労亀裂は発生していない。これは、現行のB活荷重に対しても概ね許容応力度内に収まっており、耐荷力に余裕があることが要因と考えられる。アーチは横支材を有しない単弦アーチであることから横倒れ座屈しないよう余裕のある断面で設計されていること、また、橋軸垂直方向主桁は上フランジ部分が床版に埋め込まれ、合成桁のような構造であること、さらには橋長に比べて橋脚が多く、橋全体としての剛性が高い構造であることが要因であると想定される。

②RC床版・RC桁

RC床版の損傷は、床版ひび割れ、うき、剥離・鉄筋露出、漏水・滞水などである。本橋は抜本的な床版防水工の記録が残っていないことから長年にわたり橋面からの漏水が続いていたものと推測される。うき、剥離・鉄筋露出については、施工不良や漏水による鉄筋腐食等が原因と考えられる。しかし、本業務での詳細調査の結果、中性化は鉄筋付近まで進行してはいたものの、鉄筋腐食度は軽微、圧縮強度は25~32N/mm²、塩分含有量は0.8kg/m³と材料としては比較的良好な状態だった。また、B活荷重による照査結果においても配力鉄筋は一部NGだが、主鉄筋およびコンクリートは許容応力度内であることから耐荷性能的には問題無いと考えられる。

③橋脚(柱・梁)

橋脚の損傷は、昭和~平成初期の点検では、ラーメン隅角部、橋台とRC橋脚梁等が報告されている。このうち、橋台とRC橋脚梁の接合部の損傷については、橋台擁壁とラーメン橋脚の梁が剛で接合されていることから、地震や地盤の変状温度変化等による挙動の違いにより発生したものと推測される。これらの損傷はその後の補修工事にてひび割れ補修や断面修復がなさ

れ現在では大きな損傷は発生していない。

コンクリートについては床版同様比較的良好であり、地震時L1レベルでは概ねOK、L2レベルまでOKである。

(2)健全度評価・劣化予測

検討方針

国道2号天神橋の健全度および劣化予測は、橋梁寿命計画H26.9の基本思想にて実施される橋梁定期点検の判定・診断結果を活用して検討する。

健全度評価結果

前述の詳細調査をもとに以下の様な評価表を作成し、検討した結果、本橋梁は竣工から90年以上経過しているにもかかわらず、健全度が高く、耐荷性能も大きな問題が無いことが分かった。

(A-1) 耐久性評価結果【鋼部材】											
部材	降伏点(N/mm ²)		引張強さ(N/mm ²)		化学成分		腐食度		ASR		総合評価
	試験値	評価	試験値	評価	結果	評価	試験値	評価	結果	評価	
アーチ	287	II	479	II	-	-	0.22	III	-	-	II
改築I桁	282	I	471	II	-	-	0.34	III	-	-	II
主桁	266	II	444	II	SS400	II	0.31	III	-	-	II
対候欄・橋樑	-	-	-	-	-	-	0.28	III	-	-	II

(A-2) 耐久性評価結果【コンクリート】													
部材	鉄筋腐食		中性化		圧縮強度		塩分含有量		W/C比		ASR	総合評価	
	判定	評価	進行	残り	測定値	評価	鉄筋	平均	試験値	評価			結果
床版	II	II	37	8	II	29.1	I	0.80	0.52	I	-	-	II
橋台	II	II	20	50	I	-	-	-	-	-	-	-	II
旧橋脚	II	II	19	41	I	19.0	II	0.90	0.95	I	64%	II	軽微
新橋脚	II	II	37	12	I	19.6	II	0.25	0.54	I	66%	III	軽微

(B) 耐荷性能評価結果【上部工、下部工】											
部材	常時照査		耐震(L1)		耐震(L2)		総合評価				
	照査	評価	照査	評価	照査	評価					
【上部構造】											
アーチ(アーチリブ・補綴桁・昇材)	25ton-OK	I	OK	II	★	?	I				
改築I桁	25ton-OK	I	-	-	★	?	I				
主桁	25ton-OK	I	-	-	★	?	I				
対候欄・橋樑	25ton-OK	I	OK	II	★	?	I				
床版	OK	II	-	-	-	-	II				
【下部構造】											
橋脚	25ton-OK	I	OK	II	OK	I	I				
橋台・擁壁・基礎											

表-4 耐久性/耐荷性能 評価結果
劣化予測結果

天神橋の健全度および物性値を統計分析と劣化予測式に当てはめて使用可能年数を予測したところ、補修後、20年から30年の延命化が期待できることが分かった。

6. まとめ

本橋は、竣工から90年以上経過しているが、各詳細調査や復元設計による応力検証により、想定より部材の損傷や構造の耐震性に問題はないことがわかった。しかし、橋面漏水に起因する鋼材腐食(孔食)、漏水・遊離石灰、剥離・鉄筋露出が多く発生しており、「海浜公園須磨天神橋B〇補修」において、鋼桁部に全面塗装塗替およびあて板補修工、床版及び橋脚剥落防止工が実施されている。しかし、過年度補修履歴等を確認したところ、舗装打替工や伸縮装置取替工は実施されているものの、全面的な床版防水工が施工できていないことがわかった。

今後の課題として、塗装塗替部分の早期の再劣化が予想される。また床版下面と剥落防止工の間に滞水することで、剥落防止工が損傷し、JR軌道敷きコンクリート片が落下することなども懸念される。したがって、早期の床版防水工が必要である。