

設計耐用年数 100 年を目指し耐久性照査を実施した海上鉄道橋の設計

中部国際空港連絡鉄道（株）

井上 嘉永

（独）鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員

○黒瀬 信弘

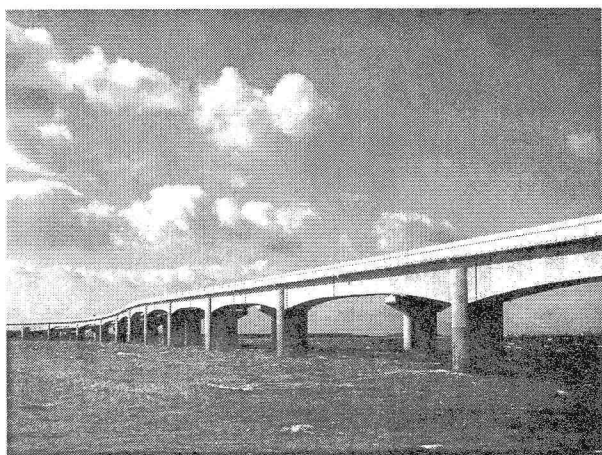
1. はじめに

中部国際空港連絡橋は、名鉄常滑線常滑駅と中部国際空港を結ぶ 4.3km の中部国際空港連絡鉄道のうち、空港島に渡る最大支間長 100m、全長 1,076m の 3 径間 1 連 + 4 径間 2 連から構成される連続 PC 箱桁ラーメン橋である。

本橋りょうは橋脚が海中および飛沫帯に、桁が海上（大気中）に設置され「特に厳しい腐食性環境」にさらされる条件下にある。また、供用開始後の点検・補修・補強は極めて困難でありメンテナンスフリーが不可欠であるため、設計耐用年数 100 年を目指した。

本橋りょうの設計当時、鉄道構造物等標準設計は、耐久性照査を実施する設計体系ではなかったため^{#1}、設計耐用年数 100 年にわたりコンクリート構造物としての所要の性能を確保できるよう土木学会コンクリート標準示方書〔施工編〕－耐久性照査型－（平成 11 年版）に準拠して設計照査を行い、耐久性の向上を図った。

本発表は設計耐用年数を 100 年と明示して定量的指標に基づき耐久性照査を行ったわが国の先駆的な事例となる海上鉄道橋の設計・施工について報告するものである。



写真－1. 中部国際空港連絡橋
（平成 15 年 12 月完成）

^{#1} 鉄道構造物等標準設計は平成 16 年 3 月に性能照査型の設計体系に改訂された。

2. 耐久性照査項目

海上橋において、塩害に対する対策がもっとも重要な照査項目である。このため、コンクリート構造物のコンクリートの材質と鉄筋かぶりに着目し、以下（１）～（４）について照査を行った。

（１）中性化

かぶりのうち、中性化の残量が 25mm となる年数をもって橋脚（飛沫帯：高炉セメント B 種）およびコンクリート高らんで照査を行った結果、塩害対策で決定したかぶりを確保することにより 100 年間においては、問題ない結果となった。その他の部位については、水セメント比で中性化速度が決ること、また高炉セメント B 種より低熱ポルトランドセメントの方が中性化の年数が長くなるため年数推計は省略した。（表－1 参照）

（２）塩化物イオンの侵入に伴う鉄筋の腐食

海中橋脚の飛沫帯においては、コンクリート表面を打放し面とした場合の塩化物イオン濃度の予測値は、高炉セメント使用では 3.85 kg/m³ で、低熱ポルトランドセメント使用では 5.12 kg/m³ となった。（表－1 参照）

鉄筋の腐食は、土木学会のコンクリート標準示方書では 1.2 ～ 2.4 kg/m³ の範囲から腐食するとされており、塩害による劣化が非常に高い数値となったため、現状の設計かぶり 100 mm を確保し、海中構造物での使用実績の多い、ポリマー含浸コンクリート製埋設型枠で橋脚を被覆する構造とした場合での照査を行った。照査結果は、高炉セメント使用では 0.67 kg/m³ で、低熱ポルトランドセメント使用では 0.71 kg/m³ となり、塩化物イオン濃度の予測値が非常に抑制できる結果となったため、ポリマー含浸コンクリート製埋設型枠を採用することとした。被覆範囲は、気象海象等の当該地域の特性を考慮し、経済性・施工性・美観等から平均潮位面より上方 7m とした。また、平均潮位面より下方は、干潮時・波浪時において打放し面が大気中に曝されない位置として 3m とし、計 10m の範囲に設置することにより耐久性を確保することとした。

（３）施工時におけるひび割れ

構造物の耐久性確保には、橋脚（頂版・く体）の施工

段階で有害なひび割れを発生させないことが肝要である。そこで、高炉セメントと低熱ポルトランドセメントの2種類のセメントを使用した場合の温度応力解析を行い、最適なセメントの選定とひび割れ発生予測を実施した。単位セメント量は330kg/m³、W/Cは45%とした場合の照査結果を表-2に示す。低熱ポルトランドセメントを使用することにより、発生する温度応力が高炉セメントの1/2程度に低減でき、ひび割れ抑制効果が顕著であることが明らかとなった。以上のことから、塩化物イオン濃度の低減には、高炉セメントが優れているが、マスキングの有害なひび割れの発生の可能性を小さくすることが必要であることから、低熱ポルトランドセメントを使用することとした。

(4) アルカリ骨材反応

橋脚に使用するコンクリートは、コンクリートプラント船で製造することとしたが、使用する骨材については、良質な骨材の品質保証のため、骨材は産地を限定した。アルカリ骨材反応については、①使用する予定の骨材に対する専門家（大学教授）による現地調査、②骨材のアルカリシリカ反応性試験、③専門家による目視調査、X線回析、偏光顕微鏡分析を実施し、いずれの項目においても骨材は、

無害と判断された。

3. 擬似橋脚によるモニタリング

本橋りょうは、設計耐用年数100年を見据えた設計を行ったが、経年変化など未知なる要素も多く、また、容易に巡回点検できないことから海上橋の健全性確認や維持管理の一助とすることを目的に、海中橋脚や高欄をモニタリングするための擬似橋脚を海岸際の陸上部に設置し、継続的に監視することとした。

4. おわりに

本橋りょうは、設計耐用年数100年を見据えた性能設計を実施し、厳しい施工条件のなか高度な技術を駆使して建設したことが認められ、平成15年度プレストレストコンクリート技術協会賞を受賞した。本橋りょうがコンクリート構造物の耐久性向上策の一事例として参考になれば幸いである。最後に、設計・施工にあたり貴重なご意見、ご指導をいただきました名古屋大学田邊教授を委員長とする海上橋技術検討委員会の各委員ならびに関係者に感謝の意を表します。

表-1. 中性化および塩化物イオンの侵入に伴う鉄筋の腐食の照査結果

構造物名	検討部材名称	建設位置	仕 様				中性化の 照査	塩化物イオンの侵入に 伴う鉄筋の腐食の照査		耐久性の判定
			セメント	W/C	かぶり (mm)		照査結果	C _o Kg/m ³	照査結果 Kg/m ³	
					上部	下部				
P2～P13橋脚	橋脚く体	飛沫帯	高炉B	45%以下		100	1,348年	13.0	3.85	塩害劣化の懸念が高い。
	橋脚く体	飛沫帯	低熱	45%以下		100	省略		5.12	塩害劣化の懸念が高い。
	橋脚く体(樹脂埋設型枠)	飛沫帯(MWL+7.0mまで)	高炉B	45%以下		100	省略		0.67	温度ひび割れの発生が懸念される。
	橋脚く体(樹脂埋設型枠)	飛沫帯(MWL+7.0mまで)	低熱	45%以下		100	省略	0.71		
	橋脚く体(頭部)	海上大気中(MWL+7.0m以上)	高炉B	45%以下		100	省略	3.8	1.48	温度ひび割れの発生が懸念される。
	橋脚く体(頭部)	海上大気中(MWL+7.0m以上)	低熱	45%以下		100	省略		2.53	
PCラーメン橋 (P2～P13)	桁(鉄筋かぶり)	海上大気中	早強	38%以下	70	∞ 年	2.0	1.40	PC鋼材への塩害の心配なし。	
	95				1.05					
コンクリート高らん	RC壁	海上大気中	普通	45%以下	50		213年	2.0	1.94	

中性化の照査： かぶりのうち、中性化の残量が25ミリとなる年数
塩害の照査： 設計耐用年数(100年)における、鉄筋表面(帯鉄筋)位置の塩化物イオン濃度
： 現地で実施されたケースを示す。

表-2. 橋脚(頂版・く体)の温度応力解析結果

セメント	部材	最大温度 (℃) (材齢)	温度降下 (℃) (材齢)	部 位	最小ひび割れ指数	ひび割れの発生状況	ひび割れ幅の 最大値 (mm)
高炉セメント	頂 版	68.9 (5.5日)	38.4 (90日)	内部	1.0	内外部温度差により表面・貫通ひび割れ	
				表面	0.7		
	1ロッド	81.7 (4.0日)	61.4 (90日)	内部	0.7	2ロッド打設後、表面になかわれ発生率95%、貫通ひび割れの可能性あり	0.22
				表面	0.6		
	2ロッド	79.8 (4.5日)	57.7 (90日)	内部	1.1	3ロッド打設後、表面になかわれ発生率84%、貫通ひび割れの可能性あり	0.19
				表面	0.7		
低 熱	頂 版	56.9 (10日)	28.9 (90日)	内部	1.4	表面ひび割れのみ 養生方法により改善可能	
				表面	0.9		
	1ロッド	69.4 (7.5日)	49.5 (90日)	内部	1.2	2ロッド打設後、表面になかわれ発生率65%、貫通ひび割れの可能性小	0.15
				表面	0.9		
	2ロッド	67.3 (8日)	45.9 (90日)	内部	2.2	3ロッド打設後、表面になかわれ発生率25%、貫通ひび割れの可能性なし	0.09
				表面	1.2		