

鋼製橋脚隅角部亀裂確認検査要領の作成と臨時点検

保全施設部 保全技術課 山口 良 弘
保全施設部 保全企画課 南 莊 淳
保全施設部 保全技術課 吉 原 聡

要 旨

阪神高速道路公団では、平成12年度の臨時点検により10基の鋼製橋脚に隅角部の損傷が発見されたことなどを契機として、臨時点検を実施することとした。これらの損傷の多くが従来の目視による定期点検においては確認されていなかったことから、平成13年度に多数の鋼製橋脚隅角部を効率よく点検することを目的として非破壊検査を導入した要領を作成し、14年1月より9月にかけて鋼製橋脚隅角部の全数点検を実施した。全数点検に至る経緯、検査要領の作成、点検の実施および結果について報告する。

キーワード：鋼製橋脚、隅角部、検査要領、点検

はじめに

阪神高速道路は、平成14年現在約221kmを供用しており、その供用延長の約9割が橋梁である。また、橋脚はコンクリート製と鋼製を合わせて約8,400基にのぼり、そのうち鋼製橋脚は約1,250基あり、さらに隅角部を有する鋼製橋脚は1,199基である。

一方、阪神高速道路公団では概ね5年ごとに定期点検を実施してきている。鋼製橋脚隅角部の損傷については、昭和57年に神戸線で2基の損傷を発見して以来、平成12年度までに、定期点検および臨時点検で合計13基の損傷を確認している。そのうち、比較的損傷の大きい5基については、発見された時点で速やかに補修・補強を実施し、その他については監視を行ってきた。平成12年度の池田線の点検において、出入橋付近の鋼製橋脚10基に損傷が確認されたことを受け、平成13年度に「鋼橋の耐久性に関する調査研究委員会（委員長：堀川浩甫大阪大学教授）」において鋼製橋脚隅角部亀裂確認検査要領を作成し、平成14

年1月から9月にかけて全ての鋼製橋脚隅角部の詳細点検を実施した。

本報告では、全数の臨時点検に至った経緯から検査要領の作成、点検の実施および結果について記述する。

1. 過去の損傷事例

阪神高速道路において、平成12年度以前に発見された鋼製橋脚隅角部の損傷を表-1に示す。

阪神高速道路で初めて発見された隅角部損傷は昭和57年の神戸線橋脚であり、補強板を設置したのち、補修溶接を実施した¹⁾²⁾。損傷状況を図-1に、補修後橋脚と補強状況を図-2、図-3に示す。

このような損傷が発生した原因については、損傷原因を1つに絞って断定するのは困難であるが、溶接時に偶発的に生じた微細な溶接欠陥が、当該橋脚の構造特性、交通状況等から生じる大きな活荷重による繰り返し応力によって成長して生じたものと推定された。なお、当時は様々な条件

表-1 鋼製橋脚隅角部の損傷橋脚

(H12年度以前発見分)

路線名	基数 (形式)	橋脚番号	発見状況	損傷状況 (mm)	対応状況
神戸線	2 (単柱)	神P 352	S 57定期点検	74, 57	・補修溶接 ・補強板施工
		神P 353	塗膜割れ発見		
守口線	1 (単柱)	守P 82	H 5定期点検 塗膜割れ発見	30	・監視中
池田線 (2層ラ ーメン)	10	空P 19	H 10定期点検 P 25の損傷を発見 →P17～29詳細点検	65, 17	・3基「あて板」 による補修 (空P23,25,26) ・他橋脚 監視中
		空P 20		38, 8	
		空P 21		20	
		空P 22		20	
		空P 23		64, 47	
		空P 24		50, 24	
		空P 25		75, 55	
		空P 26		50, 52	
		空P 28		60	
		空P 29		45	

※ 損傷状況は発見された亀裂の最大長さを記載。

例1：20 (mm) …発見された亀裂の最大長さが20mm

例2：74, 57 (mm) …発見された最大の亀裂は、角から2方向に伸びており、それぞれの方向の長さが74mm, 57mm

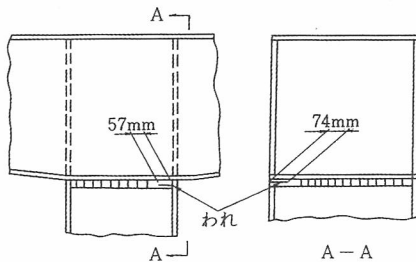


図-1 損傷状況



図-2 補修後橋脚

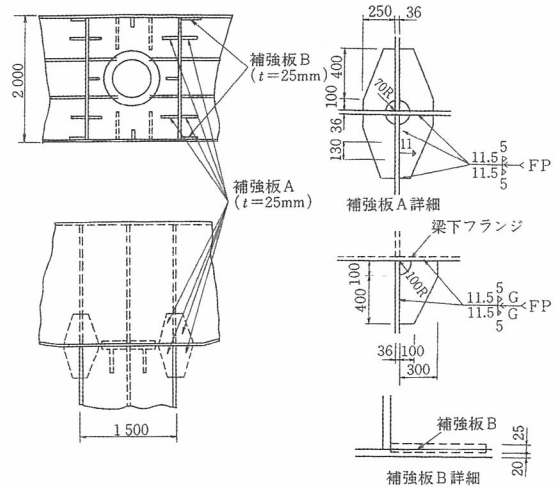


図-3 補強板設置状況図

が重なって生じた特異な事例と考えられていた。

また、平成5年の定期点検において、守口線の円柱橋脚に角梁を有する単柱橋脚である守P 82の隅角部に塗膜割れが発見された。その後の詳細点検により鋼材の損傷が確認され、現在まで監視が続けられているが、進展は認められていない。

次に、平成10年の定期点検において池田線の空P 25の隅角部に発見された損傷については、耐震補強工事の足場が設置された際に、池田線の同時期に建設された13橋脚について詳細点検を実施した。その結果、空P 25を含む10橋脚において損傷が発見され、角からの損傷長さの合計値が100mmをこえる隅角部を有する空P 23, 25, 26については、応急対策として全隅角部に補強板を設置した。他の損傷橋脚については監視中であり、現在のところ損傷の進展は観測されていない。



図-4 空P25損傷部磁粉指示模様

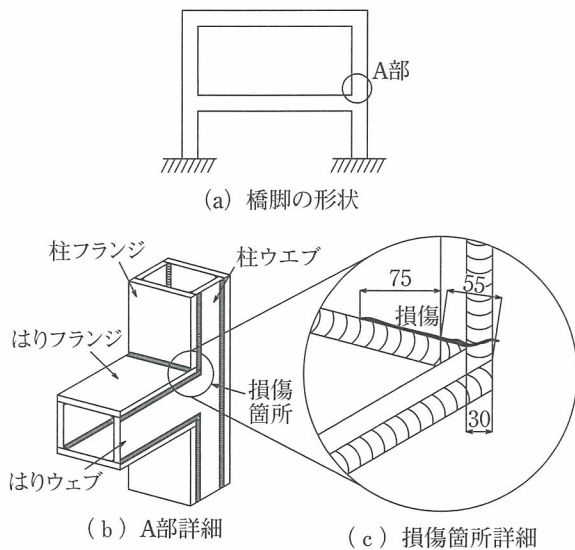


図-5 空P25 損傷状況図

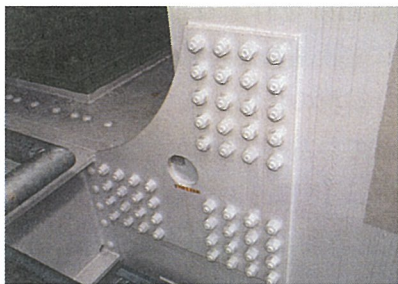


図-6 空P25 補強板設置状況

空P25の損傷状況を図-4、図-5に、補強板の設置状況を図-6に示す。

なお、補強板の設置効果を把握するために実施した補強前後の柱フランジ応力分布を図-7に示す。隅角部端部付近の応力がおおむね半分程度に低減されていることがわかる。

2. 亀裂確認検査要領の作成

2-1 平成12年度臨時点検

点検の緊急度が高いと考えられた昭和45年以前に竣工した橋脚について、平成12年度に臨時点検を実施した。橋脚隅角部について目視を主体とした点検と過年度定期点検の結果記録の再調査を実施し、鋼製橋脚隅角部に塗膜われなどの変状がないか、また記録されていなかったか調査した。

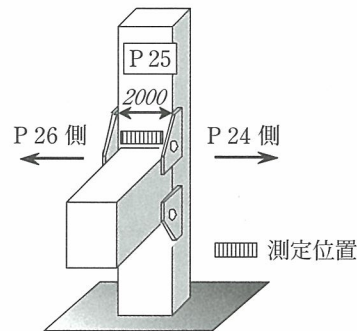
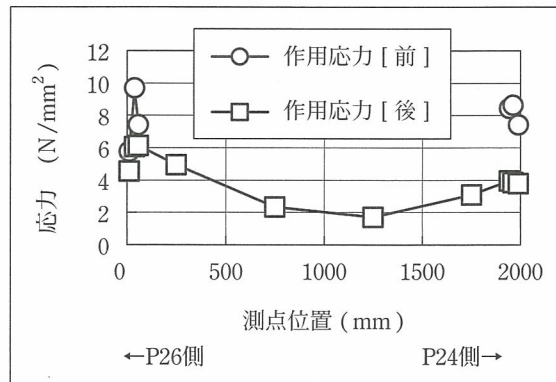


図-7 空P25 応力測定

その結果、新たな損傷箇所は発見できず、目視を主体とした従来の点検手法では限界があると考えられた。

2-2 亀裂確認検査要領の作成

以上のような経緯から、膨大な数に上る隅角部の点検を効率的かつ精度よく実施することが必要であり、そのために新たに検査要領を作成することが必須と考えた。主な検討項目は以下の通り。

- ①非破壊検査手法の適用検討
- ②点検対象、点検範囲の検討
- ③点検・調査項目の検討

これらの項目について、溶接部の非破壊検査手法に関する調査を実施し、作業効率および亀裂確認の信頼性を評価するなどの検討をすすめ、鋼製橋脚隅角部亀裂確認検査要領³⁾を作成した。以下に作成した亀裂確認検査要領の概要を記す。

(1) 検査要領の適用範囲

鋼製橋脚隅角部における表面の損傷を確認する臨時点検のための要領とし、対策の必要性や対策方法を検討するための詳細調査や追跡調査は適用範囲外とした。

(2) 点検対象

昭和48年の道路橋示方書に隅角部の溶接に対して完全溶け込み溶接の適用が明記されたことから、以降の道示が適用された橋脚については損傷の発生率が低下することが予想される。このような根拠により点検対象を絞り込む手法が考えられるが、橋脚の記録から点検の要不要を判断するのは危険と判断し、全鋼製橋脚隅角部を点検対象とした。

(3) 点検手法

全箇所を点検対象としたことにより、より合理的・効率的な検査を行う必要性が生じた。そこで、溶接部の亀裂確認検査手法として、接近目視点検に加え非破壊検査を併用することとし、適用可能な以下の4つの非破壊検査手法について表面亀裂の検出能力や作業性を相対的に比較検討した。

- ①超音波探傷検査
- ②渦流探傷検査
- ③磁粉探傷検査
- ④浸透探傷検査

検討に当たっては、「渦流探傷検査要領(案)：阪神高速道路公団」1998⁴⁾や、過年度の業務報告書などを参考とした。比較検討においては、超音波探傷検査は表面の損傷検出性能において問題があると考えて除外し、渦流探傷検査は、阪神高速道路として亀裂探傷に実績があり、今回の目的とする探傷に必要な精度を有しているほか塗膜除去が不要なことから作業性にも優れていると考え

表-2 探傷検査手法の特性比較

	磁粉探傷 (MT)	浸透探傷 (PT)	渦流探傷 (ET)	超音波探傷 (UT)
装置の重量	8kg	3kg	0.5kg	8kg
塗膜除去の必要性	要	要	不要	要
表面亀裂の検出精度	○	○	○	×
表面亀裂長さの計測精度	○	○	▲	×
表面亀裂の方向性、形状の確認	○	○	×	×
検査結果の記録性	○	○	▲	▲
検査速度	6m/時間	4m/時間	10m/時間	4m/時間

※検査時間には塗膜除去に関する時間は含まない

られた。しかし、損傷寸法の計測や形状、方向性の確認さらには記録性に十分な性能を有していないため、単独での検査実施には問題があると考えられた。これらの検討を表-2にまとめる。結果として下記に示すとおり2種の検査方法を併用することとした。

亀裂確認検査①：目視検査も含めて検査対象全数に渦流探傷検査を実施し、損傷の疑いのある箇所を抽出する。

亀裂確認検査②：①で抽出された箇所に対し磁粉探傷検査を実施し、損傷の寸法、形態等を確認調査する。

なお、渦流探傷検査はコイルにより発生した磁場の影響で表面に流れる渦電流を利用したものであることから、検査に際しては鋼材表面の形状や鋼材端部の影響を受ける。損傷深さが浅いもの、長さの短いもの、鋼材端部にあるものは得られる電気信号が損傷以外の影響を受け、損傷との判断が難しいといった性質がある。そこで、溶接部に人工傷を設けた試験片を基準とし、試験片を上回

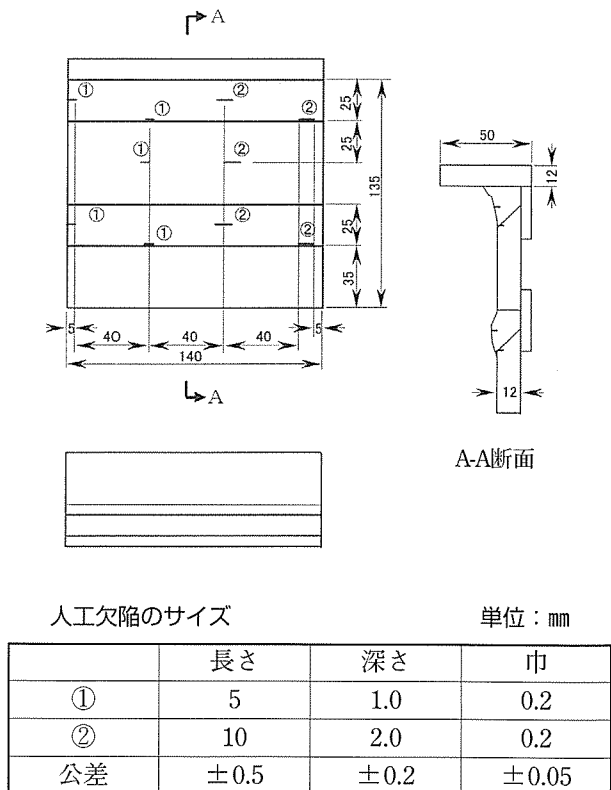


図-8 人工傷試験片

る信号が検出された部位は損傷の疑いがあるものとした。さらに、実橋脚による検出精度確認を実施した上で使用することとした。人工傷試験片を図-8に示す。

(4) 検査範囲の設定

隅角部の損傷で特に注意が必要とされるのはせん断遅れの影響等で応力の高くなる隅角部端部付近であることを配慮し、また橋脚形状、板組により検査必要範囲が異なるため各々の検査範囲を設定した。一例を図-9に示す。

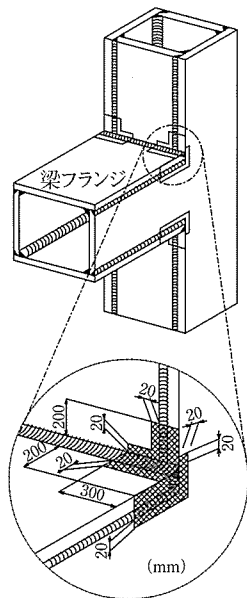


図-9 検査範囲例

2-3 先行工区点検

作成した亀裂確認検査要領の適用にあたっての問題点等の把握と、渦流探傷検査の精度確認を目的として、要領に基づく点検を先行工区として実施した。この際、渦流探傷検査の精度確認の観点から全ての隅角部に対し、磁粉探傷検査を実施し、結果を比較した。

その結果、先行工区約300箇所の調査では、10箇所の隅角に磁粉指示模様を観察され、渦流探傷検査ではそのうち9箇所を捉えていた。捉えられなかった1箇所については、鋼材端部に位置し、材端からの長さが6mmで、深さ等も含めた損傷の大きさが小さかったことから、所要の精度が確認できたと判断した。

なお、磁粉探傷検査に当たっては、指示模様には浅いアンダーカットや表面傷等が含まれることがあることが明らかにされたことから、点検の実施にあたっては、板厚公差等を勘案し、指示模様が観察された部分について深さ1mmを限度として表面を削り、なめらかに仕上げた上で再度磁粉探傷試験を実施することとした。この際、消失したものについては、その記録を点検報告に残すに止め、消失しなかったものを損傷として扱うこととした。

3. 点検の実施

3-1 点検の実施

点検の流れを図-10に示す。なお、図中に詳細点検と記述された範囲が検査要領対象部分である。発見された損傷に対しては橋脚毎に詳細調査を別途検討の上、実施している。

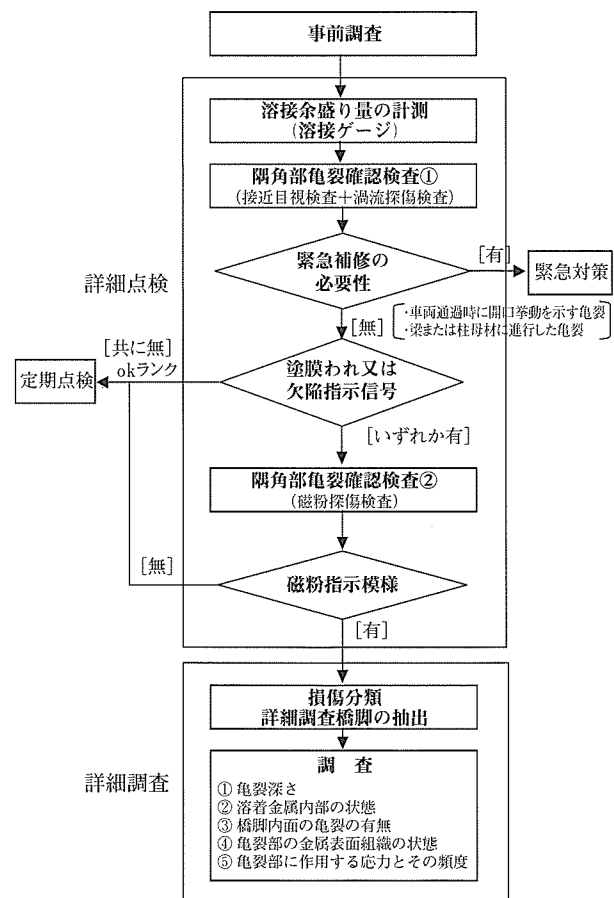


図-10 隅角部検査フロー図

3-2 点検結果

(1) 結果概要

1199基（11,527箇所）の詳細点検を実施した結果、141基（293箇所）の損傷が発見された。表-3に点検結果を示す。なお、発見された損傷の分類については、対応の優先度から次に示す4種に分類した。

- 1) 引張領域の隅角部端部に概ね100mm以上の損傷が確認されたものは、「Aランク」として、早急に補修を行う。
- 2) 隅角部端部に30mm以上の損傷が確認されたものは、「Bランク」として、H15年度内に補修を行う。
- 3) 隅角部端部に30mm未満の損傷が確認されたものは、「C-1」ランクとしてその進展を監視し、H15年度以降に計画的に補修を行う。
- 4) 隅角部端部以外に確認された損傷および表面傷については、「C-2」ランクとしてその進展を監視し、機会をとらえて補修を行う。

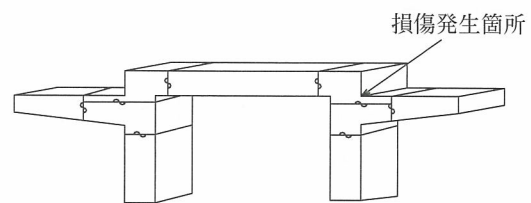
表-3 鋼製橋脚隅角部点検結果

路線名	点検数	損傷なし	損傷あり	A	B	C-1	C-2
	①=②+③ (11,527)	② (11,234)	③=④+⑤ +⑥+⑦ (293)	④ (4)	⑤ (61)	⑥ (82)	⑦ (146)
合計	1,199	1,058	141	4	29	44	64
1 環状線	29	28	1		1		
2 池田線	56	44	12	3	6	2	1
3 守口線	13	9	4		2	1	1
4 森小路線	5		5				5
5 東大阪線	174	166	8				8
6 松原線	17	16	1				1
7 堺線	64	59	5			2	3
8 西大阪線	11	11					
9 大阪港線	70	67	3			1	2
10 淀川左岸線	15	15					
11 神戸線(大阪)	47	41	6	1	1		4
12 神戸線(兵庫)	190	154	36		9	10	17
13 湾岸線(大阪)	361	312	49		7	23	19
14 湾岸線(兵庫)	146	135	11		3	5	3
15 北神戸線	1	1					

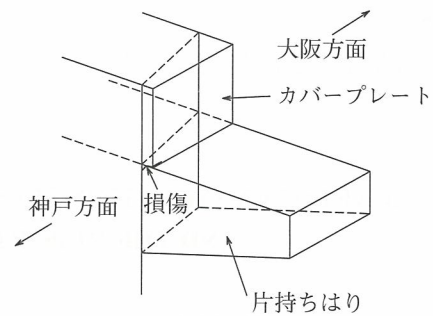
- 1) 引張領域の隅角部端部に概ね100mm以上の損傷が確認されたものは、「Aランク」として、早急に補修を行う。
- 2) 隅角部端部に30mm以上の損傷が確認されたものは、「Bランク」として、H15年度内に補修を行う。
- 3) 隅角部端部に30mm未満の損傷が確認されたものは、「C-1ランク」として、その進展を監視し、H15年度以降に計画的に補修を行う。
- 4) 隅角部端部以外に確認された損傷及び表面積については、「C-2ランク」としてその進展を監視し、機会をとらえて補修を行う。

(2) Aランク損傷事例

Aランクとして分類された損傷橋脚は4基であり、うち3基は過去の損傷事例に記述した池田線の3基である。既に補強板を設置しているが、恒久対策として充分であるか検証が未了のため、Aランクに分類している。他の1基は神戸線（大阪）の大P88であり、図-11～13に損傷状況を示す。本橋脚についても既に補強板を設置しており、詳細調査や補強前後の応力測定を実施している。さらに損傷原因究明のための調査を継続中である。



(a) 橋脚の形状



(b) 損傷を生じた隅角部

図-11 大P88 損傷位置図



図-12 大P88 損傷状況（目視点検）

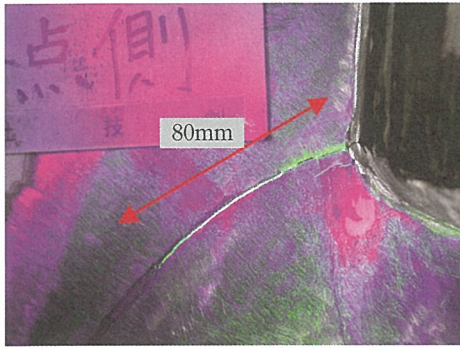


図-12 大P88 損傷状況（磁粉探傷結果）

4. あとがき

亀裂確認検査要領は、臨時の全数点検のために作成されたものであるが、隅角部の点検は今後も引き続き定期点検等に対応してゆく必要があるため、今回の点検をふまえて改訂してゆく必要があると考えている。

また、隅角部損傷については、平成14年に

「鋼製橋脚隅角部に関する調査研究委員会（委員長：堀川浩甫大阪大学教授）」を設立し、損傷の原因、補修補強方法の検討を実施しているところであり、2002年12月には委員会中間報告を公表したところである。今後も引き続き検討を進めて行くところである。

これらについては機会を捉えて別途報告したい。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：鋼橋の疲労，1997.
- 2) 今井宏典，藤野勘滋，山崎鷹生，水元義久：構造物の変状と補修，橋梁と基礎1983. 8.
- 3) 阪神高速道路公団：鋼製橋脚隅角部亀裂確認検査要領2002.
- 4) 阪神高速道路公団：渦流探傷検査要領（案），1998.
- 5) 鋼製橋脚隅角部に関する調査研究委員会：中間報告2002.

MAKING EXAMINATION MANUAL FOR BEAM-TO-COLUMN CONNECTIONS AND THE REPORT OF THE EXAMINATION RESULTS

Yoshihiro Yamaguchi, Atsushi Nanjyou, and Satoshi Yoshihara

Many fatigue cracks were found in beam-to-column connections in steel bridge piers in the Hanshin Express-way. We will report making examination manual for beam-to-column connections and examination results.

