

ASR損傷橋脚の補強事例

計 画 部	特定計画調整室	上 田 芳 夫
神戸第一建設部	設 計 課	山 口 良 弘
保 全 施 設 部	保全技術課	足 立 幸 郎

.....

要 約

阪神高速道路公団では、ASR（アルカリ骨材反応）によるコンクリート構造物のひびわれ損傷について、積極的に調査研究を進め、構造物の適切な維持管理に努めている。

松原線山王地区のRC橋脚については、昭和57年度にASR損傷が確認されてからは、コンクリート表面保護工と追跡点検調査とによって維持管理が進められてきた。しかし平成2年度に松P45橋脚の梁内部のコンクリート強度が部分的に低下していることが明らかとなった。

一般にASRによるひびわれはかぶり部分では進行するが、断面内部には進展しないと考えられている。したがって、このような現象は例外的なものと考えられるが、今後のASR損傷の進行を防止するとともに耐荷性を確保することを目的とした補強工事を平成5年度に実施した。本文では、RC橋脚の補強例となった松P45について、供用後の経緯と補強設計の考え方を述べている。

キーワード：ASR（アルカリ骨材反応）、RC橋脚、補強

1. まえがき

まえがき

14号松原線山王地区（松P38～58）の鉄筋コンクリート橋脚では、その梁部分に過大な幅のひびわれが1980年（S55）3月の供用開始前より発生していた。

さらに、1982年には最大幅4mmまでひびわれが進行していることが確認された。このためコアを採取して各種の試験を行った結果、アルカリ・シリカ反応（ASR）がひびわれの原因であると結論された。1985年には試験車を用いた載荷試験が行われたが、たわみ測定値からは補強対策の必要がないと判定された。

1987年からは他路線のASR損傷構造物も含めて、「大阪管内構造物調査点検業務」の中で、追跡調査が実施されている。この中で1990、1991年

に松P45の梁部分から貫通コアを採取したところ、内部にひびわれが進行していることや、圧縮強度が設計基準強度を下回っている部分もあること等を判定した。

ASR損傷は、一般にコンクリート構造物のかぶり部分において顕著なひびわれを生じるが、コア部分では鉄筋の拘束によってひびわれの進展はないと考えられている。したがって前述のような現象は、松P45だけでの特異な例とは考えられるが、ASR損傷の進行防止と耐荷性の確保を目標として、当該橋脚を対象に鋼板接着工法を主体とした補強工事を実施した。

本文は、補強工法選定のための実験や、補強設計方針、補強工事の概要等をまとめたものである。

1 補強に至る経緯

1-1 ASR確認まで

14号松原線山王地区の鉄筋コンクリートT型単柱橋脚（松P-38～58）は、1980年（S55年）3月に供用開始後約2年経過した時点で数基の橋脚に最大幅5mm程度の著しいひびわれの発生が見られた。当時ひびわれの多い橋脚としては松P-38, 39, 40, 42, 43, 45, 47, 48, 58の9基が、ひびわれの少ない橋脚としては、P-41, 44, 53, 54の4基が報告されている³⁾。ここでは、これらの中でもひびわれの進行が顕著な代表例として松P-45を取り上げ、その施工等の経緯を示した。

- ① 梁コンクリート打設
S50.12.6
- ② 供用前点検でひびわれ発見
S54.10
- ③ 供用開始 S55.3
- ④ ②を受けて橋脚3基（松P-40, 45, 48）の樹脂注入による補修
S55.3
- ⑤ ひびわれ進行の拡大を確認（最大ひびわれ幅4～5mm）
S57.5
- ⑥ ひびわれ状況等の調査開始
S57.6
- ⑦ 梁コンクリートの骨材反応検出
S27.10
- ⑧ 試験補修（3基）として注入、被覆
S57.12

上記のように松P-45については、梁コンクリート打設より約46ヶ月を経てひびわれが確認され、このひびわれについては供用開始時に一度注入補修を行っている。その後26ヶ月を経過し再度ひびわれが認められ、しかもその程度は大きい状況であった。

橋脚の構造は鉄筋コンクリートT型単柱橋脚であり、基礎は場所打ち杭多柱式基礎である。標準的な橋脚の形状を図-1に示した。

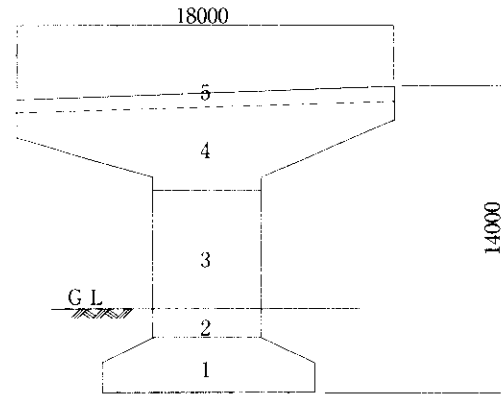


図-1 橋脚の形状

柱部の主筋はD32×125mm、梁部の主筋はD35×125mm×3段である。コンクリートの配合条件は、設計基準強度270kgf/cm²、粗骨材最大寸法25mm、スランプの範囲3～5%、水セメント比49.6%、細骨材率43.4%である。使用材料は普通ポルトランドセメント、フライアッシュ、那加川産の細骨材、A地方産の粗骨材（碎石）、ポゾリスNo.5Lである。コンクリートの打設については、図-1の1と2をシュート打ち、3, 4, 5を主としてクレーン・バケット打ちとし、一部はポンプ打ちにより行った。松P-45のひびわれは主として梁部に多発しており、図-2に示したように柱主筋が止まる位置での水平ひびわれが約4mm程度のずれを生じている特徴が認められた。

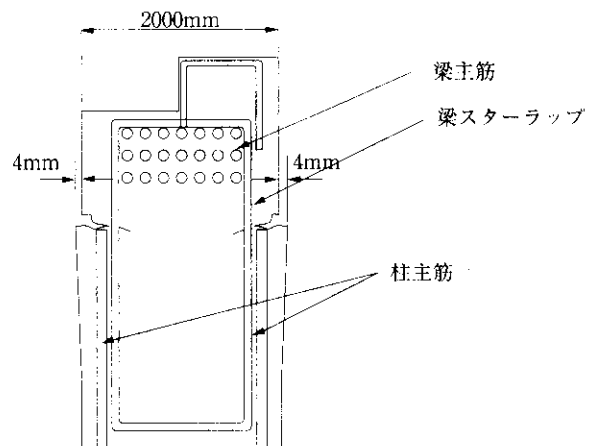


図-2 コンクリート表面の段差

このようなひびわれは従来の施工不良、水和熱、乾燥収縮によるひびわれと異なるものであり、コンクリートの膨張に伴って生じたものと考えざる

を得ない状況となった。このため、コアを採取して採取ゲルの分析、粗骨材の岩種検討、コンクリート中のアルカリ成分の定量等を行った。その結果から松原線のひびわれ損傷原因は、骨材のアルカリ・シリカ反応に起因するものであると結論された²⁾。

1-2 追跡調査

昭和60年度には、ASRの生じている松原線の橋脚の健全度を評価するために、試験車を用いた載荷試験を実施した³⁾。

試験結果によれば、外観上損傷度の高い橋脚と健全な橋脚には、たわみによって剛性(EI)の比較ができるような有意差が認められなかった。また、エポキシ樹脂注入前後での差もなく、表面から10~15cm程度の注入はEIの増加にはつながらないことが確認された。

P-40~45の設計計算書によれば、応力に与える活荷重と死荷重の影響の比率は、1:3.2~3.9であり、活荷重の影響は小さいといえる。しかし、本試験に用いた試験車による輪荷重は設計活荷重の約80%に達しており、今回の実測値で健全橋脚と損傷橋脚にたわみの差がなかったことから、補強対策の必要はないと判定された。

表-1 設計応力と載荷時の応力比較

単位: kg/cm²

項目		橋脚		P-40	P-45
		P-40	P-45		
設計計算書	曲げモーメント (t m)			1325	1325
	応力度 (死)	コンクリート		48	50
		鉄筋		915	1290
	応力度 (活)	コンクリート		15	14
		鉄筋		283	330
応力度 (死+活)	コンクリート		63	64	
	鉄筋		1198	1624	
載荷試験	曲げモーメント (t m)			289	314
	応力度	コンクリート		14	11
		鉄筋		261	279

松P-45を含めた山王地区のRC橋脚に関しては、主としてその変状の実態を把握するための調

査が「大阪松原線山王地区橋脚詳細点検業務」として、昭和57年度~61年度にわたって実施された。昭和62年度以降は他路線のASR損傷構造物をも含めて、「大阪管内構造物調査点検業務」の中で追跡調査が実施されてきている。

追跡調査の項目は、コンタクトストレインゲージ標点を連続的に設置して計測する橋脚寸法測定と、特定のひびわれに着目したひびわれ幅測定および超音波伝播速度測定等が主たるものである。図-3, 4は梁部の橋脚寸法測定と超音波伝播速度測定との代表的な経年変化を示したものである⁴⁾。いずれも松P-45橋脚の梁部分でのひびわれ劣化が継続的に進行していることを裏付ける結果となっている。

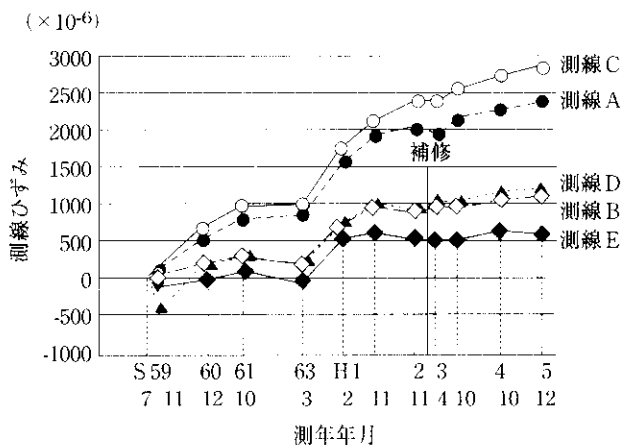


図-3 橋脚寸法経年変化図

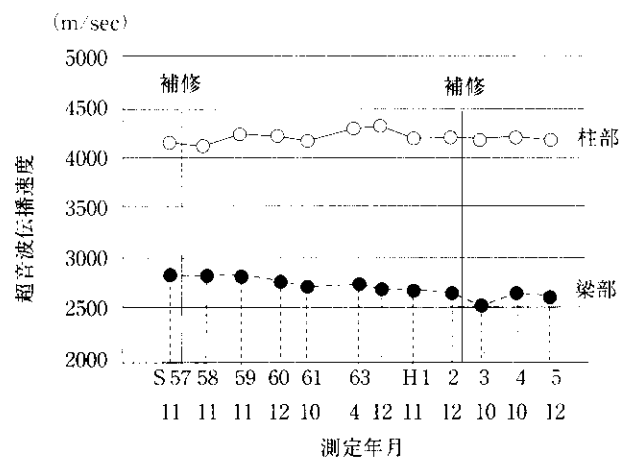


図-4 超音波伝播速度経年変化図

追跡調査期間中には、平成2年度に梁部分で貫通コアを採取し、内部の状況を検査したところ、部分的に脆弱な部分もあることが分かった。採取位置は超音波伝播速度が2600m/secと低い部分ではあったが、平成3年度にも表-2に示したように設計基準強度270kgf/cm²に対して明らかに低い値が測定された。ASR損傷は一般にコンクリート構造物のかぶり部分においては顕著なひびわれを生じるが、内部は鉄筋の拘束によってひびわれの進展はほとんどないとされてきた。しかし、松P-45においては例外的な事例と考えられるが、ASR補修対策が十分な効果をあげておらず、内部コンクリートにも微細なひびわれが進行して結果としてコンクリート圧縮強度の低下が生じたと推測される。通常の使用状態では構造物の耐荷性に問題はないと言えるが、今後のひびわれ進行を考慮すると地震時の安全性を確保する必要があると考えられる段階に達したと判定された。

表-2 コア採取試験結果 (平均値)

	採位	取置	圧縮強度 (kgf/cm ²)	静弾性係数 (kgf/cm ²)	
平成2年度	表	面	169	3.1 × 10 ⁴	
	中	間	142	3.2 × 10 ⁴	
	内	部	138	3.5 × 10 ⁴	
平成3年度	健	表	面	305	18.9 × 10 ⁴
	全	中	間	289	19.7 × 10 ⁴
	損	表	面	211	5.9 × 10 ⁴
	傷	中	間	195	5.1 × 10 ⁴

2 補強実験

ASR損傷を受けたRC橋脚の補強対策工法の中から、現場状況や施工性を考慮して鋼板接着工法を選択し、その補強効果を確認するための模型実験を実施した。松P-45の上部工はPC桁であるため、梁上面の鋼板接着補強は不可能で

あるが、梁下面および側面は比較的容易に補強できるという条件を満たす補強方法を確立することを本実験の目的とした。

2-1 コンクリート強度低下の影響

ここでは、コンクリート強度の低下が梁の耐荷力にどのような影響を及ぼすのかを実験的に検証した。梁に曲げが作用した場合、梁の破壊形態は荷重条件のせん断スパンと有効高さの比(a/d)に支配される。松P-45橋脚の梁部分は片持梁と考えられ、a/d=1.5~6.0の範囲にあるため、a/d=2.5, 5.0の2種類の供試体を用いた。また、低強度コンクリートは大量の空気をコンクリート中に連行させることで作製した。

図-5は a/d=2.5で載荷した低強度コンクリート梁(Beam A)の曲げ破壊モーメント比(Mu/Muo)とコンクリート圧縮強度比(f/fo)の関係を示したものである。foは普通コンクリートの圧縮強度であり、Mu0はACI基準式にfoを代入した曲げ破壊モーメントである。図中にはACI基準式で算定した圧縮強度の低下に伴う梁のMuを実線で示しており、実験値○と比較的良好な相関が見られる。a/d=5.0でも同様な結果が得られており、梁の破壊耐力の低下は、コンクリート圧縮強度が100(kgf/cm²)程度よりも小さくなった時に急激に起こることがわかった。

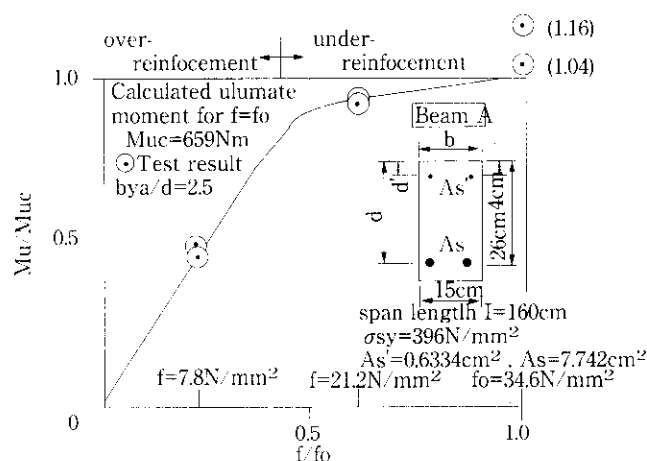


図-5 曲げ破壊モーメント比と圧縮強度比との関係

3 補強設計

3-1 基本方針

模型実験の結果から、梁の側面および圧縮側への鋼板接着工法は実T型橋脚の梁部分の補強工法として、実質的に有効な方法であるという結論が得られた。このため、松P-45橋脚梁部分のASR損傷に対して、ASR進行を防止するための漏水対策と、鋼板接着工法による補強対策とを平成4年度のコンクリート構造物の耐久性に関する調査研究委員会（委員長：岡田清，京都大学名誉教授）にはかり、次のような基本方針のもとに、補強設計を進めることとした⁶⁾。

(1) 漏水対策

- 1) 上部工の漏水対策として、防水性能の優れたゴムジョイントを設置するとともに、ジョイント下側の主桁間の遊間に漏水対策工を施す。
- 2) 梁上面の作業空間を確保するために、かぶりコンクリートや端横桁下側をはつり取り、梁上面には吹き付け防水層を設ける。

(2) 鋼板接着工法

- 1) 鋼板厚の決定に当たっては、将来コンクリート圧縮強度低下に対応できるようにする。
- 2) 梁側面と下面に接着する鋼板は互いに溶接して接合するためだけでなく、梁コンクリートとの一体化が図れるように梁に水平の貫通孔をあけ、PC鋼棒を用いて両側面を締め付ける用に用いる。
- 3) ひびわれへの注入を含めて、コンクリートへのアンカーボルトの施工方法やその長さについて検討を行う。
- 4) 脚柱部についてはフーチングとの接合部までを補強範囲とし、地震時外力に対応できるようにする。

3-2 漏水対策

上部工であるPC桁の伸縮装置からの雨水の落下を、図-8に示したように弾性材料を目地材として充填することによって防止しようとするものである。

①作業空間を確保するために、梁上面の段

差部分や横桁下部をはつり取る。

- ②目地材を充填する。
- ③鋼板接着工を行う。
- ④梁上面防水工を行う。

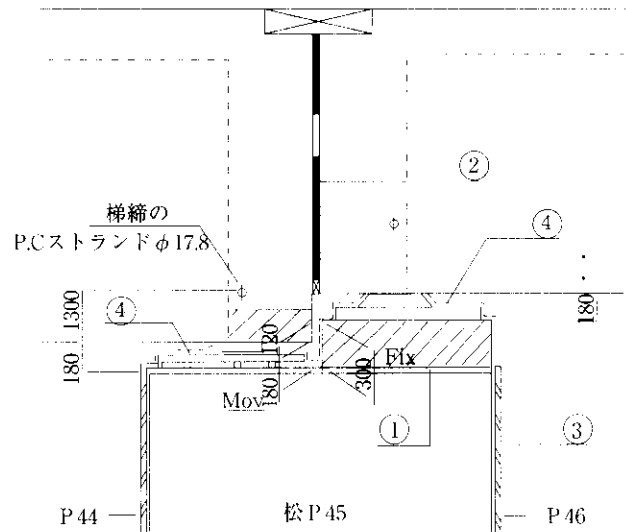


図-8 目地防水要領

目地幅が4cmと小さいため、弾性材料の完全充填は困難と考えられる。したがって設計上はスリットを設置する方法、弾性材料を充填する方法、止水ゴムを設置する方法の3種類を漏水防止工として採用した。

また、下部工上面コンクリート撤去については、図-8の斜線で示したようにP-46側の30cm段差部分を主桁の支承部分に影響を及ぼさない範囲ではつり取ることと、P-44側の端横桁下部をはつり取ることとが必要となった。

3-3 鋼板接着工法

(1) 鋼板の架設方法

現地への進入路が狭いため、架設は小型の5tonラフタークレーンとし、鋼板の1枚当たり最大重量は4tonとする。鋼板厚は最小値15mmに対して16mmを使用する。

(2) 鋼板固定用アンカー

美観上は皿ボルトアンカーの使用が望ましいが、アンカー長が250mmと長いため、施工が困難であり、普通ボルトアンカー(M16)を使用する。必要であれば外装板の設置を検討する。

(3) 鋼板の現場接合

接合方法は溶接とし、自動溶接と人力の併用とする。

(4) 注入樹脂の施工

橋脚耐震補強に合わせて、樹脂厚は4mm、1回の注入高さの最大値は3.0mとする。

(5) プレストレスの導入

梁部分に水平貫通孔をあけ、PC鋼棒を用いて平均1kgf/cm²のプレストレスで鋼板と梁コンクリートとを一体化する。

(6) 落橋防止用アンカーボルトの処理

端横桁内部の既設アンカーボルトを撤去することになるので、現状と同等の機能を持つアンカーボルトを設置する。

4 補強工事

4-1 目地防水工

松P-45上の伸縮装置は、止水性能が高いと考えられるフランスC I P E C社のシーベックジョイントに取り替えた。これは防水ゴムが常に圧縮状態にあって桁の伸縮に追従することと、地覆部でも防水ゴムが巻き上げられており止水効果が高い点等に特徴がある。

伸縮装置の下側にさらに設置する3種類の防

水方法については、松原線通行止め工事期間内に終了させる必要があることから、主として施工性の検証を目的とした模型供試体を用いた予備実験を行った⁷⁾。また、実橋での目地調査点検の結果より、松P-45の目地には部分的に幅が20mm程度の狭い個所があり、当初設計のような3種類の防水方法の実施が困難であるため、図-9に示した2種類の防水方法をとることとした。

4-2 梁上面防水工

松P-45の前後は、径間長が異なるためにPC桁の桁高が異なっており、梁上に段差が設けられている。したがって、梁上面防水工の作業空間(最小高30cm)を確保するためと梁側面の鋼板同士を上面で接続させるために、図-10に示したように梁上面コンクリートの一部をはつり取った。この空間を利用して梁上面に幅90cmの鋼板を貼り付けると、支点部分で不連続とはなるが、鋼板による閉断面が形成される。これによって鋼板を貼り付けない場合に比べて梁全体の剛性の向上が期待できる。

松P-46側の段差の高い部分については(図-7参照)、φ300のコアボーリングを行ってコンクリートを除去した。梁上面についてはアクリルゴム系材料(アロンウォール:東亜合成化学株)を吹き付けて防水工とした。

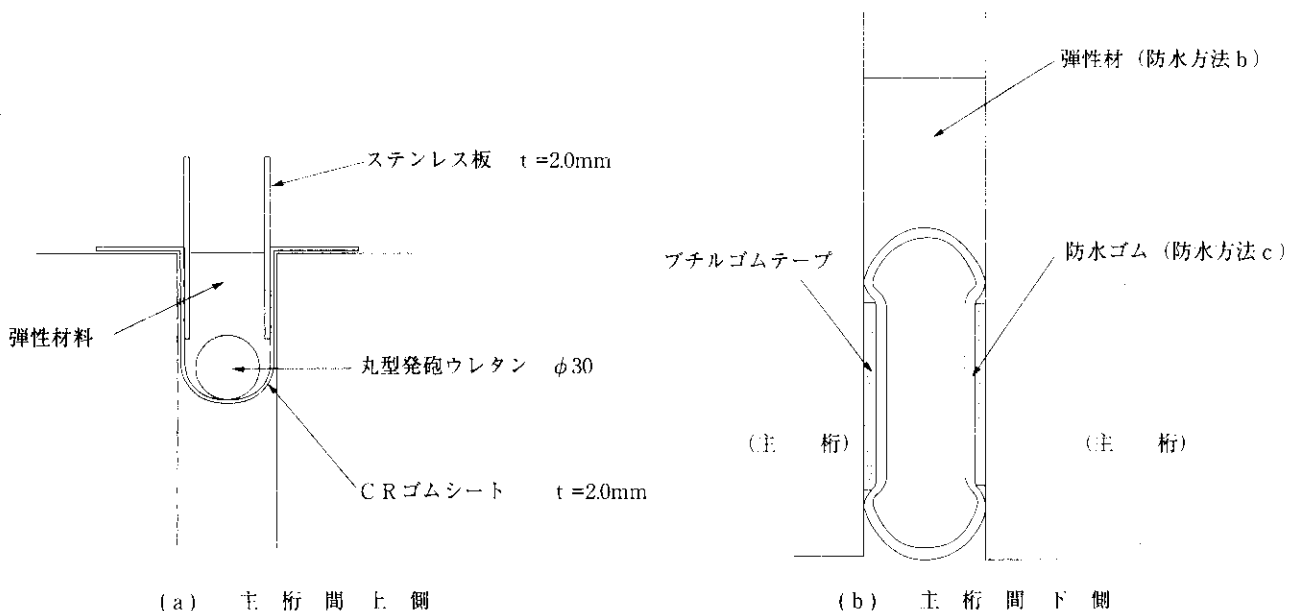


図-9 松P-45における目地防水工

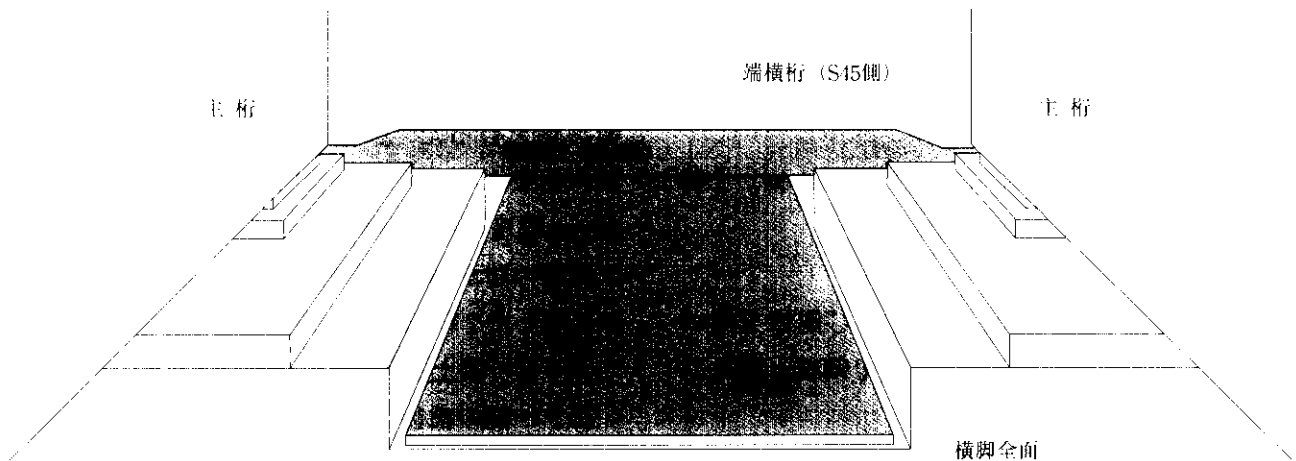


図-10 梁上面コンクリートのはつり状況

4-3 鋼板接着工

鋼板接着の施工は、平成5年11月中旬より既設塗膜除去作業が開始され、鋼板接着後の平成6年3月10日にプレストレスが導入され、3月11日に塗装が完了した。

測量では橋脚の形状やコンクリート表面の不陸を計測して、鋼板加工形状の最終決定を行った。鋼板加工では図-11に示したような板割付けとし、工場において孔明け、組立溶接、塗装前処理、下塗りまでを行った。

梁コンクリートと鋼板とを一体化させるためのプレストレス導入にはアンボンドPC鋼棒を使用している。これによって、ロードセルによる長期的な張力管理結果によっては増締めを可能としている。

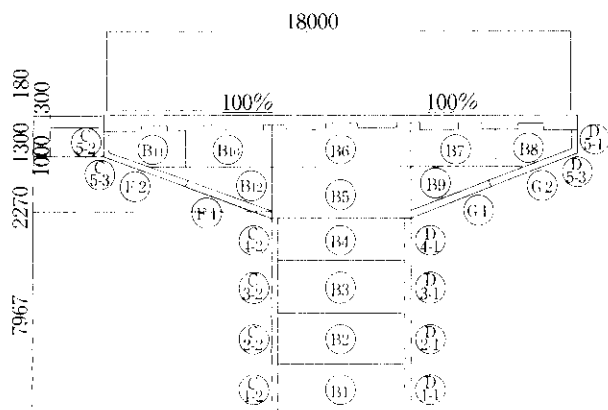


図-11 板割り付け図

参考文献

- 1) 川村満紀：アルカリ骨材反応に関する歴史と世界の動向、コンクリート工学 vol.24, No.11, Nov.1986, pp5~11
- 2) (財)阪神高速道路管理技術センター,(社)日本材料学会：反応性骨材コンクリートの調査研究報告書, 昭和58年(1983)3月
- 3) コンクリート構造物の健全度に関する調査研究業務(その3)報告書, 昭和60年(1985)3月
- 4) 大阪管内構造物追跡調査点検業務報告書, 平成6年3月.
- 5) ManabuFujii,KazuoKobayashi,Osamu Yoshioka,KoichiOno,MakotoMatsumura: REINFORCEMENT OF AAR DAMAGED CONCRETE BEAM, THE 9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ALKALI-AGGREGATE REACTION IN CONCRETE 1992.
- 6) A S R 橋脚補修施工検討業務(4松)報告書, 平成5年3月.
- 7) PC桁部目地防水工調査点検業務報告書, 平成5年11月.