

首都高速羽田線における PC-T 桁間詰め部床版の補強

富岡 光敏*1・小出 悟*2・川田 直良*3

1. はじめに

首都高速道路は、首都圏に建設された供用延長 283.3 km の自動車専用道路である。首都高速道路の構造は、高架構造が全延長の約 82% (233 km)、トンネル・半地下構造が約 12% (35 km) を占めている。このうち、高架構造の種類としては、鋼桁が約 84% (195 km)、コンクリート桁が約 16% (38 km) であり、コンクリート桁は RC 桁約 700 径間、PC 桁約 2 000 径間で構成されている。これらコンクリート桁の中でも、プレキャストコンクリート T 桁橋（以下、PC-T 桁橋という。）は、約 210 径間存在しており、その構造は、T 桁断面を有する複数のプレキャスト主桁を並べ、これを場所打ちの横桁および床版コンクリート（間詰め床版）と横締め PC 鋼材で一体にした構造である（写真-1）（写真-2）（図-1）。

プレキャスト桁部の床版と現場打ちの間詰め床版との間には打継目地が存在し、その打継目地の構造は施工年代ご

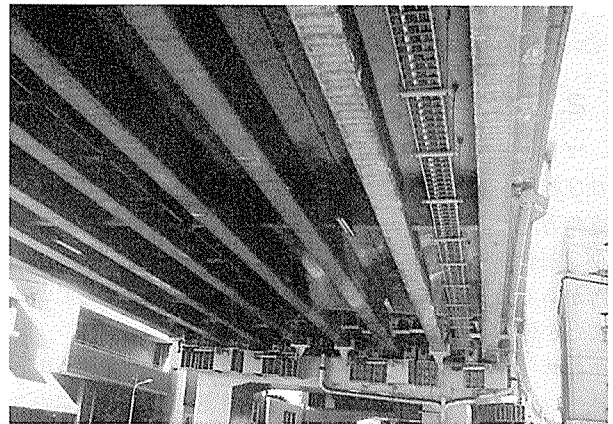


写真-2 桁下状況写真②

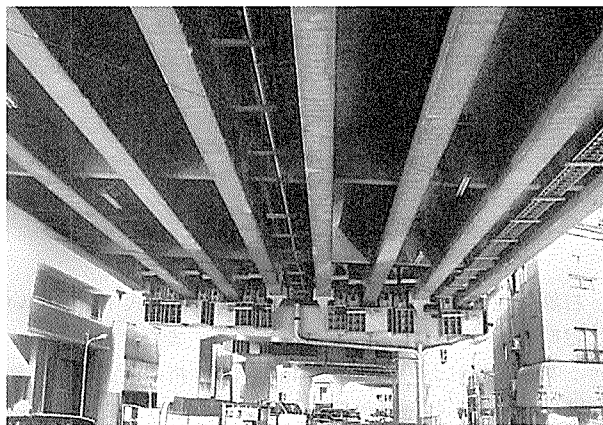


写真-1 桁下状況写真①

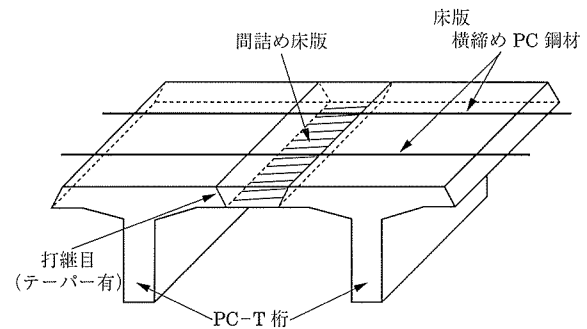


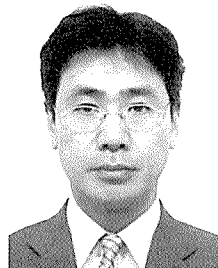
図-1 PC-T 桁橋の間詰め床版

と異なる。現行の道路橋示方書に基づいて設計を行う場合には、打継目地部にテーパを設けることとしているのに対し、昭和 46 年以前に設計を行っている構造では、打継目地部にテーパを設けず、鉛直構造となっている（図-2）。よって、これらの構造特性等を踏まえ、補強検討を進め



*1 Mitsutoshi TOMIOKA

首都高速道路公団
西東京管理局保全部設計課



*2 Satoru KOIDE

首都高速道路公団
西東京管理局保全部設計課



*3 Naoyoshi KAWADA

三井住友建設(株) 東京土木支店
土木部技術課

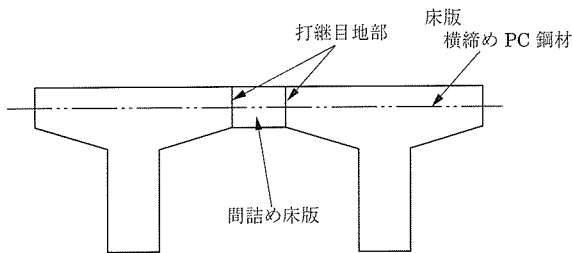


図-2 打継目地部鉛直構造概略図

ていくものとした。

2. 現況ひび割れ状況および原因の推定

プレキャスト桁部の床版と間詰め床版との打継目地部にひび割れが確認されており、さらに間詰め床版部での橋軸直角方向でのひび割れも確認されている。また、これらのひび割れ部では、ほとんどの箇所において遊離石灰や漏水跡があることから、ひび割れは床版上面まで貫通していることが想定される（写真-3）（写真-4）。

これらのひび割れが進展していった場合に、間詰め床版部でコンクリートが塊状となって抜け落ちることが想定される。間詰め床版が抜け落ちるようなことになってしまうと、高速道路上を走行している車両に対して危険であるばかりでなく、高速道路下を通行している車両または歩行者に対しても非常に危険な状況となることが考えられる。

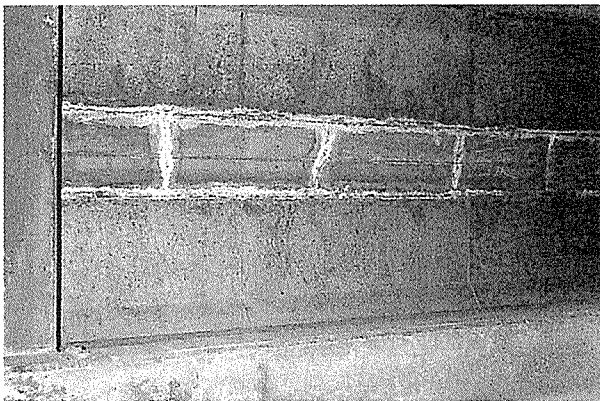


写真-3 状況写真①



写真-4 状況写真②

前段にも述べているように、現行の基準により設計されているプレキャスト桁部の床版には、テーバーを付けた構造となっている。このテーバーを付けている構造により、間詰め床版にはくさび効果が発生し間詰め床版が下方に変位した場合には横締め PC 鋼材のプレストレスが増加するため、間詰め床版に大きなズレが生じることはない想定される。

しかし、打継目地部にテーバーがついておらず鉛直となっている場合には、打継目地部に作用するプレストレス量が不足すると、摩擦抵抗が減少し打継目部のズレに対する抵抗性が減少することが想定される（図-3）。

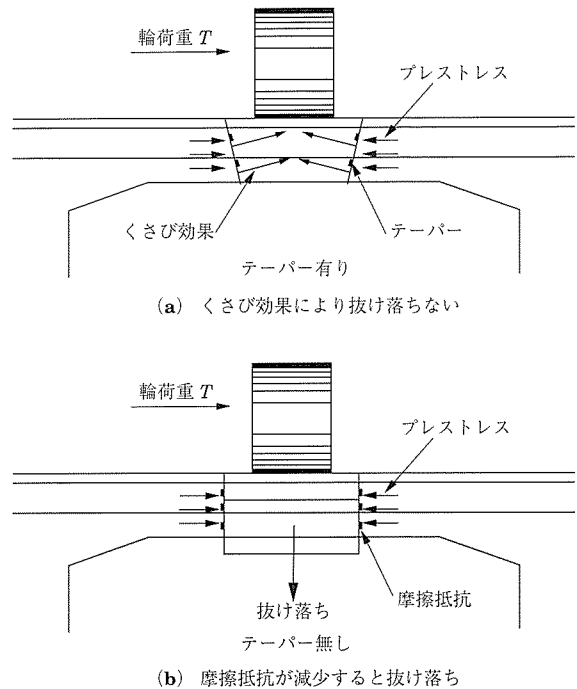


図-3 テーバー機能構造

打継目地部の構造は、ポストテンション方式 T 桁においては昭和 44 年の建設省標準設計により、また、プレテンション方式 T 桁においては昭和 46 年の JIS 桁の改訂が行われたことにより、打継目地部にテーバーを設けることとなっている。

とくに現行基準では、プレキャスト T 桁フランジより重ね継手長以上突出した鉄筋により結合する構造となっている。橋軸直角方向はプレストレスコンクリート床版とすることを原則としており、橋軸方向は場所打ちコンクリート床版としての必要な鉄筋量を用いることを原則としている。

しかし、今回の補強対象範囲においては、打継目地部が鉛直となっているばかりでなく、間詰め床版部に橋軸直角方向、橋軸方向ともに鉄筋が配置されていない構造であったことから抜け落ちに対する抵抗性が少ないものと考えた。

3. 補強設計検討

間詰め床版部の抜け落ち対策として設計を行うにあたり、次の点に示す設計条件を考慮して設計検討を行うものとし

た。また、今回補強設計を行う範囲は、打継目地部が鉛直であり、間詰め床版部に鉄筋が配置されていない径間を緊急性が高いと判断し対象範囲とした。

- 1) 間詰め床版内はすべて無筋であり、プレキャスト主桁と間詰め床版をつなぐ鉄筋は配置されていない。
- 2) プレキャスト主桁と間詰め床版との打継目部におけるコンクリートの付着はゼロと考え、上載荷重に対する横締めPC鋼材等によるせん断抵抗力は無視する。
- 3) 鋼板にリブを取り付けた補強プレートを、アンカーでプレキャスト主桁フランジ部に定着することにより、抜け落ち対策として上載荷重に抵抗する。(上載荷重としては、輪荷重、舗装自重、間詰め床版部コンクリート自重および補強プレートの自重とする)
- 4) 鋼板 (SM 400) の許容応力度を降伏点と考え、許容曲げ引張強度は $\sigma_s = 235 \text{ kN/mm}^2$ とする。
- 5) 荷重条件としては、B 活荷重によるものとし、T - 25 の後輪荷重 (100 kN, 載荷面の辺長は、橋軸方向 200 mm, 橋軸直角方向 500 mm) が間詰め床版部に直接載荷されるものとする。

間詰め床版の幅が載荷面の辺長 (500 mm) より広い場合は、活荷重の載荷面の中心 (タイヤ幅の中心) を間詰め床版中央に載荷させ、その活荷重の両端 (タイヤ幅両端) から外方向下向きに 45 度で補強プレート貼り付け位置まで荷重を分散させる。その場合においては、荷重の分散幅として間詰め床版の幅を最大とする。また、間詰め床版部の幅が載荷面の辺長より狭い場合は、間詰め床版部分のみの荷重を分担する (間詰め床版部の幅が 250 mm であれば 100 kN の 50 %) のものとし、荷重は分散させずに直接補強プレートに伝達されると考えた (図 - 4 (a) (b))。

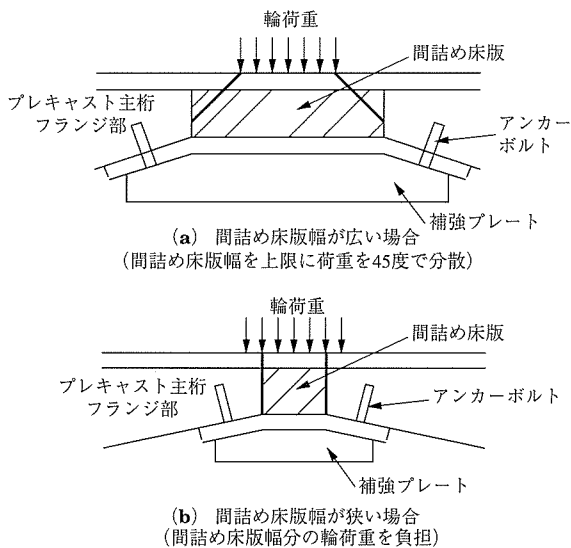


図 - 4 間詰め床版幅に応じた荷重分散

なお、橋軸方向に対する検討は、間詰め床版幅によらず荷重を 45 度で分散させるものとする。

以上により算出された輪荷重による分布荷重に、間詰め床版部上の舗装、間詰め床版部コンクリート自重および補強プレート自重を分布荷重として加え、補強プレートにか

かる単位幅あたりの曲げモーメントおよびアンカーにかかる引抜き力を算出する (図 - 5)。

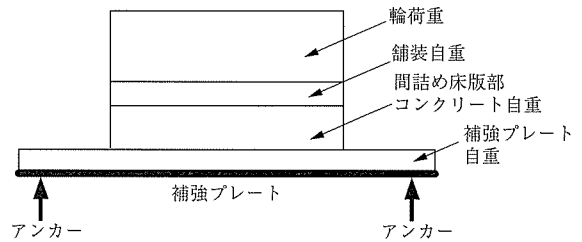


図 - 5 補強プレート設計荷重載荷状況

曲げモーメント算出にあたっては、上記による方法のほかに、道路橋示方書に示される床版の設計曲げモーメント (単純版) 算出式により間詰め床版部中央における曲げモーメントの最大値を算出し、分布荷重により算出した値と比較した上で大きい方の値を設計値とする。補強プレートは、リブ中央下端における最大引張応力が降伏点応力度以下となるように補強鋼板の板厚およびリブ高、ピッチを決定する。また、鋼板およびリブの最低板厚は 6 mm とする。

補強プレートは、施工上のハンドリングを考え、1枚あたり 100 kg 程度となるような大きさとし、その連結は添接板を設けアンカーボルトによる接合とした。

引抜きに抵抗するアンカーに対しては、橋軸方向への輪荷重の分散範囲が約 700 mm 程度 (輪荷重幅 200 mm + 舗装厚 80 mm × 2 + 床版高 × 2) となることから、橋軸方向に 300 mm ピッチ程度に配置し、この範囲にかかる全荷重をアンカー 4 本 (両サイド 2 本ずつ) で受け持つものとする。使用するアンカーは、床版下面に取り付けることから、上向き施工となることなどの施工性を考慮して、樹脂カプセルによる接着系アンカーボルトを使用するものとした。

アンカーの耐力は、アンカーボルトにかかる引抜き力および引抜きによるコンクリートのコーン状破壊により決定される。アンカーを打ち込むプレキャスト主桁フランジ部は、現場調査結果からおおむね良好な状態であることが確認されており、コンクリートのせん断耐力は十分期待できるものと判断した。また、アンカーボルトの打込み長さを 80 mm と設定することにより、定着されるアンカーは、コンクリート被り部を貫通し下側鉄筋よりも内部側に定着されることとなる。よって、コーン状破壊に至るクラックが抑制され、さらに鉄筋のせん断耐力も余剰耐力として期待できることから、アンカー耐力の設計値に対する安全率は実際には非常高くなるものと思われる (図 - 6)。

4. 施工時検討点

抜け落ち対策補強プレートの施工時においては、現場調査を踏まえ次の点に注意していかなければならないものと考えた。

- 1) プレキャスト主桁フランジ部にアンカーボルトを定着させるため、そのアンカーボルトと横締め PC 鋼材との位置関係
- 2) 補強プレート設置後の点検方法および漏水対策

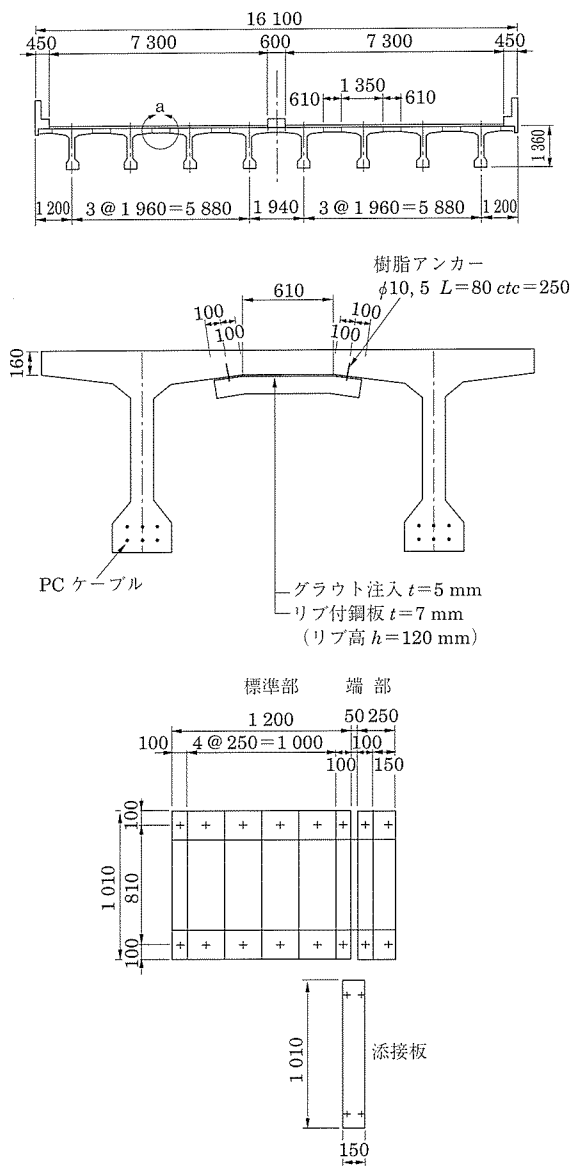


図-6 補強設計構造図

3) 間詰め床版部の打継目地部等の下地処理方法

まず、アンカーボルトと横締めPC鋼材との位置関係についてであるが、アンカーボルトを定着させるために、プレキャスト主桁フランジ部の削孔を行う必要がある。この際にPC鋼材を切断させないような配慮が必要となる。

現場調査結果では、横締めPC鋼材箇所において橋軸直角方向のひび割れが確認された。よって、しゅん功図面による確認は当然のことであるが、現地ひび割れ状況としゅん功図面とを比較して確認する必要があると考えている。また、場合によっては、レーダー等による鉄筋探査や試し掘りによる確認を行うことも検討することが必要と思われる。

つぎに、補強プレート設置後の点検方法および漏水対策についてであるが、先にも述べたように打継目地部および横締めPC鋼材付近における橋軸直角方向へのひび割れまたはその箇所からの漏水が確認されている。抜け落ち対策のために設置する補強プレートにより、打継目地部を含む間詰め床版部を完全に覆ってしまう構造となってしまう。

ひび割れ部を完全に覆ってしまえば、その部位の目視による点検が行えず、もし損傷が進展した場合には大規模な破壊に至るまで発見できないことが考えられる。また、そのひび割れが漏水を伴っているような場合には、漏水による滞水が懸念される。そのために、ひび割れ部または漏水部にかかる箇所の補強プレートに、水抜き孔を兼ねた観測孔として直径5cm程度の孔を設けるものとした。観測孔として使用することも考えていることから、ひび割れが確認されていない箇所にも、横締めPC鋼材の位置付近に観測孔を設置した。

間詰め床版部の打継目地等の下地処理については、建設当時の現場施工によって発生していると思われる段差によって、大部分の箇所でコンクリート面に不陸が生じている状況である。補強プレートの間詰め床版下面にアンカーで取り付ける構造を考えているため、現場で発生している不陸は適切に除去する必要がある。

本補強は、抜け落ち対策としての補強プレート設置であることから、エポキシ樹脂等による床版一体化までは考えていない。しかし、施工性の観点から、床版下面と補強プレートとの間の隙間を5mm程度とり、その隙間にノンブリージングタイプのPCグラウトを充填することとした。

5. 施 工

基本となる施工フロー図を図-7に示す。

5.1 現場調査工・設計

最初に必要となることは、足場架設後の現場調査工である。現場調査工では、現状のひび割れ状況や漏水その他損傷をもれのないように確認し、状況に応じては補強プレート設置の前に断面修復工など必要な補修方法を行う必要がある。また、現地の構造物ではしゅん功図面どおりの数値となっていることはほとんどないので実構造物での計測等を行い、その状況に応じた補強プレートの設計・製作を行うこととなる。また、設計時においては、鉄筋探査により鉄筋や横締めPC鋼材がアンカーボルトの取付け位置にあたるような場合には、アンカーボルトの位置を考慮して設計するものとする(写真-5)。

5.2 コンクリート面処理工

床版下面の不陸修正、または、当初施工時において発生しているものと思われる打継目地部の段差が残っているため、ディスクサンダーなどで段差を除去し下地調整を行った。下地処理完了後には、ブローもしくは雑巾などでコンクリート表面に付着した切粉をきれいに清掃する。

なお、事前にコンクリートの浮き、剥離部を除去するとともに、鉄筋露出部は鉄筋に発生している錆等をワイヤブラシなどで除去し防錆材を塗布した後に、ポリマーセメント系モルタルで断面修復を行っている(写真-6)。

5.3 樹脂アンカー打設工

補強プレート取付けのために、アンカーボルト位置の墨出しを行い、樹脂アンカーを打設する。穿孔は、電動ドリルによりφ5程度の下孔を鉛直に穿孔し、その後ハンマードリルにより正規の孔径でアンカー孔を穿孔する。穿孔深さを必要以上に深くさせないために、ドリルのキリ部にマ

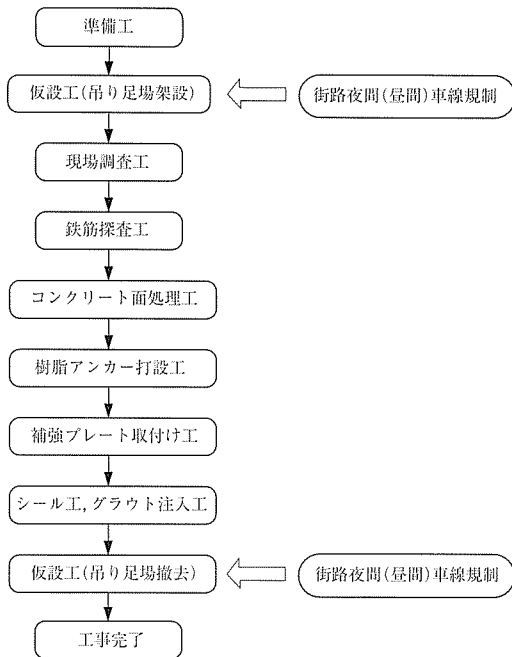


図-7 施工フロー図



写真-7 アンカー削孔工状況写真

5.4 補強プレート取付け工

鋼板を架設する前に、補強プレートに汚れなどがついていないか確認し、汚れがついている場合には、乾拭きもしくはシンナー拭きにより汚れを完全に除去する。その後、最低注入厚を確保するためにあらかじめ7 mm厚のスペーサーを設置し補強プレートを取り付ける。

補強プレートを取り付けるためのアンカーボルトは、現場で施工していることから設計で定めている数値と同じ間隔での施工は、困難である。よって、現場施工誤差を補強プレートで吸収するために、全体施工分の何枚かを工場で孔あけせずに現場搬入し、標準タイプの補強プレートが取り付けられない箇所を孔あけしていない補強プレートに現場で孔あけを行い対応することとしている。

ただし、床版支間寸法等により一枚一枚が特殊サイズで設計・製作を行っている補強プレートにおいては、すべての補強プレートを工場で孔あけしないで現場に搬入し、孔あけ作業は実際のアンカー位置間隔を測定して、現場で孔あけを行うこととした。

また、ボルトの締付けは、ゆるみ防止装置として、1種と3種のダブルナット締付けによるものとした(図-8)(写真-8)。

5.5 シール工・グラウト注入工

床版下面と補強プレートとの間には、5 mmの隙間を設けてPCグラウト材を充填させる。PCグラウト材を充填する前のシール材はエポキシ樹脂系の材料を用いた。一部、現場の不陸が大きく床版下面と補強プレートとの隙間も大きくなるような場合には、シール工断面積も大きくなるためエポキシ樹脂系ではなく、モルタル系の材料を用いてシール工を行った。

グラウト材の注入は、練りあがったグラウトを注入器のホッパーへ網でこしながら移し、注入ホースを鋼板の注入パイプへ取り付けた後に注入する。この時、施工箇所の勾配を考慮し、低い方から高い方へ押し上げるように注入を行う。グラウトの充填確認は、注入パイプおよび空気抜きパイプからのグラウト材流出により目視で確認するとともに、木槌を用いて補強プレート部での打音確認を行うことで確認する。

また、硬化後に再度打音による確認を行い、擬音箇所が



写真-5 現場計測工状況写真



写真-6 コンクリート面処理工状況写真

ーキングをするなどして適切に管理するものとした。同様に、樹脂アンカーの打ち込みにおいても、アンカーボルトにマーキングを行い、過剰な攪拌とならないように施工管理を行った(写真-7)。

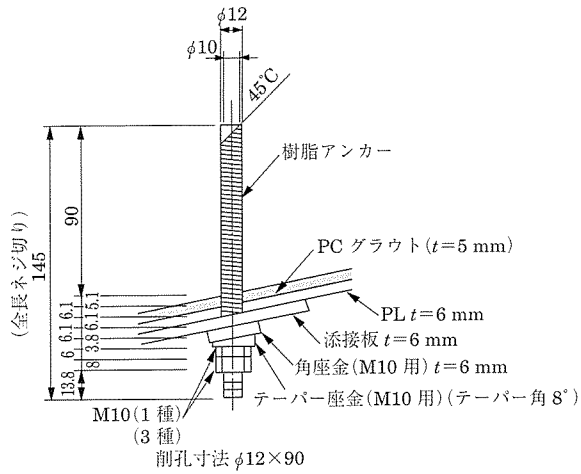


図 - 8 取付けボルト詳細図



写真 - 8 補強プレート取付け工状況写真

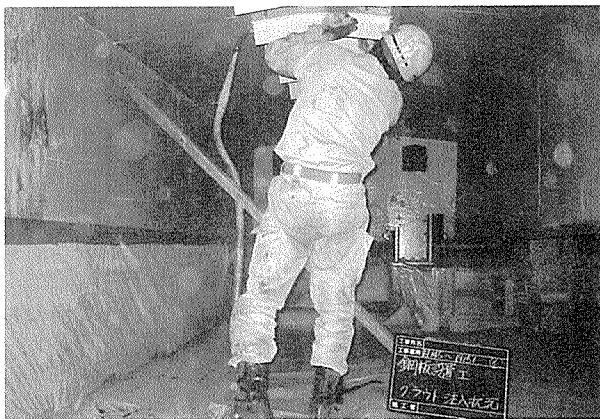


写真 - 9 PC グラウト注入工状況写真

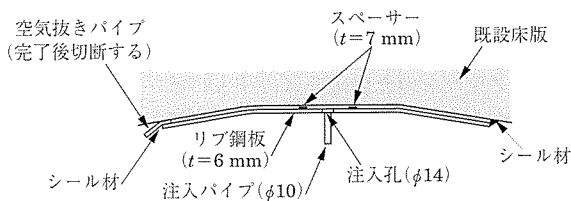


図 - 9 シール材詳細図



写真 - 10 施工完了写真

あった場合には、コア機械などを使用し、剥離か空隙箇所かの確認を行い、空隙箇所であった場合はエポキシ樹脂系の注入材を低圧で注入し補修することとする (図 - 9) (写真 - 9)。

以上による作業、確認を行い、間詰め床版部の抜け落ち対策補強の完了となる (写真 - 10)。

6. おわりに

施工前に行なったしゅん功図面等の調査においては、約 210 径間ある PC-T 桁のうち、打継目地部が鉛直となっている径間が約 120 径間確認された。

現在、首都高速道路公団で制定している「コンクリート橋の床版補強設計・施工要領 (案) (平成 15 年 5 月)」では、床版補強工法の選定においては、床版の構造や損傷状況に応じた工法を選定することとなっており、とくに間詰め床版を有する PC-T 桁部に対しては、間詰め床版部テーパの有り無しにより補強方法の整理を行い、その内、テーパを設けていない間詰め床版部は、配筋および打継目の差し筋配置により抜け落ち対策補強の必要性を検討するものとなっている。リブ付鋼板を設置する場合においても、床版補強の観点から、床版と一体化させたりリブ付鋼板により、曲げ耐力を向上させるとともに抜け落ち対策も兼ねる構造となっている。

今回補強を行った構造では、直接床版の曲げ耐力を向上する補強構造とは違うものであるが、ひび割れ部観測孔を活用し、引続き状態点検を行い補強の有効性を確認していきたいと考えている。

参考文献

- 1) コンクリート橋の床版補強設計・施工要領 (案), 首都高速道路公団 (平成 15 年 5 月)
- 2) 首都高速道路の点検・補修・補強に関する調査研究 (平成 14 年度), 首都高速道路公団, 財団法人首都高速道路技術センター (平成 15 年 3 月)
- 3) 支承・落防に関する技術資料作成, 首都高速道路公団, 社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会 (平成 15 年 2 月)

【2004 年 12 月 27 日受付】