

高架下に施設がある場所での炭素繊維巻立て工法等によるRC橋脚の耐震補強

佐田建設株式会社 東京支店土木部技術課
首都高速道路公団 湾岸線建設局設計課

山川智久
今井正智

1. はじめに

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震では、道路橋を含む土木構造物に大きな被害が生じ、復旧に莫大な時間と労力がかかっている。この災害の反省にたち、他の地域の橋梁においても兵庫県南部地震クラスの地震に耐えられるように補強工事が実施されている。平成7年2月27日には、「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様（復旧仕様）」が出され、現在行われている各地の耐震補強工事は復旧仕様に基づいて設計・施工されている。通常のRC橋脚には経済的理由から主鉄筋の段落しが設けられているが、昭和55年の道路橋示方書改訂前に設計された橋脚では現行の道路橋示方書で照査すると、段落し鉄筋の定着長や帯鉄筋量が不足しているものがある。これらのRC橋脚は、大規模な地震が発生した場合、じん性の不足によりせん断破壊や段落し部に損傷がでる等の大きな損傷がでる可能性がある。

この対策法としては、「鋼板巻立て工法」や「RC巻立て工法」による耐震補強法が一般的である。補強効果については、これまでの実績により「鋼板巻立て工法」と「RC巻立て工法」とともに耐力の向上（基部にアンカーをした場合）やじん性向上の効果が認められる。特に「鋼板巻立て工法」では、鋼板を帯鉄筋として換算（じん性向上補強）することにより柱基部の変形性能を改善させ、補強設計上有利となる。「RC巻立て工法」では、経済性において最も有利と考えられるが、補強断面が最小でも25cmの増加が避けられず建築限界等の関係から物理的に採用できない場合がある。また、施工に際しては、既設橋脚表面処理が必要であるため、周辺環境により採用できない場合もある。よって、建築限界等の環境条件での制約がない場合は「RC巻立て工法」、制約がある場合は「鋼板巻立て工法」を用いるのが一般的である。

しかし、建築限界や高架下の環境条件が非常に厳しい場合、「鋼板巻立て工法」でも困難な場合がある。ここで紹介する耐震補強工事には、高架下に施設があり橋脚と建物とのクリアランスがほとんどない橋脚がある。この場合、通常の「鋼板巻立て工法」では施工が困難であった。ここでは、このような場合において適用した「炭素繊維巻立て工法」等の耐震補強方法の事例を紹介する。

2. 紹介工事の概要

発注者 : 首都高速道路公団
工事名 : 橋脚耐震性向上工事 (W-3) 東京
路線名 : 高速都心環状線、高速2号目黒線
時期 : 平成7年9月～平成9年3月
場所 : 東京都港区東麻布二丁目他
施工者 : 佐田・ショーボンド特定建設工事共同企業体
概要 : RC橋脚補強・単柱20本 (20基)
・ラーメン柱56本 (28基)

実施設計一式

工事区間は、高速都心環状線および高速2号目黒線のうちの芝公園ランプ付近から一の橋JCTの先までの高架下である。一の橋JCT付近の施工のため、橋脚の形状が1本ごとに異なり上・下段2層式の橋脚が大半である。

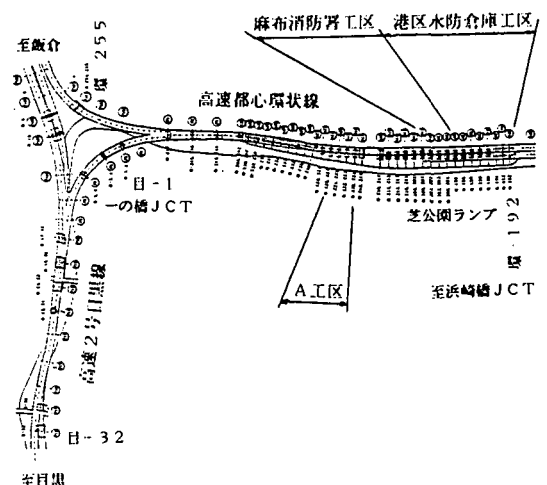


図-1 施工位置図

炭素繊維巻

東京都豊島区池袋2-48-1 信友山の手池袋ビル8F TEL03-5391-1553 FAX03-5396-5561

特に、芝公園ランプ付近の高架下には麻布消防署および港区水防倉庫等の建物があり、通常の耐震補強を行うためには建物を取り壊す必要があった。しかし、実施設計の段階において、建物の重要性および関係者との協議等により建物を壊さない条件で設計を行うことになり、いろいろ検討を行った末に「炭素繊維巻立て工法」等で耐震補強を行った。

3. 高架下に施設がある場所における工法の選定

高架下に施設がある場所において、建物を壊さない施工となったので、まず最初に巻立て工法以外の桁連続化、ラーメン化、免震化について検討を行った。検討の結果、それぞれの耐震向上方法を行ったとしても現況の橋脚においてせん断破壊が生じ、せん断補強のため巻立て工法の併用が必要となった。施工上においても、以下の問題点が挙げられる。

◎桁連続化

- ・単純桁を連結して連続桁にするので、固定橋脚における上部構造重量が増大し柱増設、増杭、フーチング増設が必要となる。
- ・上部工を連続化させるため支承の取換え、杵座のはつりが必要となる。

◎ラーメン化

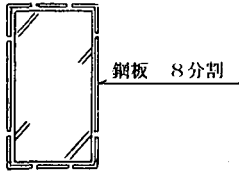
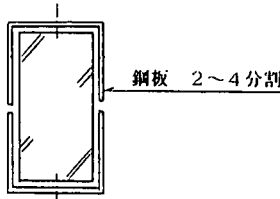
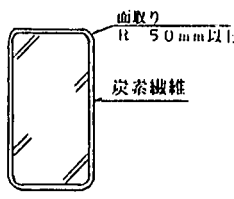
- ・橋軸方向で橋脚間に梁を増設して一体化させるので、新設梁の連結部構造が比較的大きなものになる。
- ・既設橋脚と梁との間隔があまりなく、桁下余裕が少ないので新設梁の施工が困難である。

◎免震化

- ・免震支承を設置するためには、新たに支承取付用の張出し部を設置する必要がある。また、免震杵を簡便法対応とするため構造が比較的大きなものになる。
- ・桁遊間を大きくしたり伸縮装置の取換えが必要である。また、既設橋脚が単純スパンなので固有周期の関係上、連続化する必要がある。

よって、連続化、ラーメン化、免震化を採用しても巻立て工法の併用が必要であり、さらに施工量においてもかえって多くなる傾向になった。したがって巻立て工法のみを採用することにし、巻立て工法についても今までの施工実績に基づき下記3種類について検討を行った。

表-1 施工工法比較検討表

工 法 名	鋼板巻立て樹脂注入工法	鋼板巻立て樹脂モルタル注入工法	炭素繊維巻立て工法
施工方法	<ul style="list-style-type: none"> ・下地処理工 ・鋼板固定用アンカー工 ・鋼板取付工 ・鋼板溶接工 ・樹脂注入工 ・塗装工 	<ul style="list-style-type: none"> ・下地処理工 ・鋼板固定用アンカー工 ・鋼板取付工 ・鋼板溶接工 ・樹脂モルタル注入工 ・塗装工 	<ul style="list-style-type: none"> ・下地処理工 ・面取り工 ・プライマー工 ・炭素繊維巻立て工 ・仕上げ工
特 徴	<ul style="list-style-type: none"> ・重機作業を要する ・現場溶接に時間を要する ・鋼板分割数：8分割 ・注入厚：$t = 4\text{mm}$ 	<ul style="list-style-type: none"> ・重機作業を要する ・鋼板分割数：2～4分割 ・注入厚：$t = 30\text{mm}$ 	<ul style="list-style-type: none"> ・資材は軽量である ・面取り工が必要 ・壁式橋脚では拘束効果に疑問
施工断面			

高架下の補強方法については、表-1に示す「鋼板巻立て樹脂注入工法」「鋼板巻立て樹脂モルタル注入工法」「炭素繊維巻立て工法」で補強を行うことを基本とした。

次に、高架下に施設がある場所の区間を、橋脚の形式および建物とのクリアランス等を考慮にいれて下表のとおり3工区（港区水防倉庫工区、麻布消防署工区、A工区）に分けて、それぞれの工区について上記の3工法のうちから最適な工法を選定することとした。

実施設計において、簡便法で照査を行うと曲げ耐力制御式（基部にアンカーをする場合）補強となる橋脚がほとんどであった。しかし、麻布消防署工区およびA工区においては、下表のとおり橋脚と建物とのクリアランスがほとんどなく、地中部分は土被りが浅くかつ建物の基礎コンクリートと一体になっており基部アンカーおよび基部拘束の施工が不可能である。よって、麻布消防署工区およびA工区については、横拘束筋としての補強であるじん性向上補強のみとした。この場合、簡便法で照査を行うと $P_a < K_h \cdot W$ となり補強効果が十分でない結果となったが、非線形性を考慮した動的解析を行った結果 $P_a > M/H$ となり耐力が確保されることが確認できた。

工法の選定において、「炭素繊維巻立て工法」によるじん性向上補強は炭素繊維が軽量かつ柔軟であり、施工にあたり重機を必要としないので、狭い場所での施工には最適である。しかし、この工法は作業員が施工可能な作業巾が最低限必要となることから、作業巾が取れない橋脚については、重機が必要で溶接および鋼板固定アンカー等の施工に検討を要する「鋼板巻立て(差込式)樹脂モルタル注入工法」によるじん性向上補強を採用することにした。また、「炭素繊維巻立て工法」は港区水防倉庫工区のような壁長 W と壁厚 B の比 W/B が3以上の壁式橋脚の場合、横拘束効果に疑問があるので現状においては適用できないと考えられる。港区水防倉庫工区については、橋脚と建物とのクリアランスが1m程度確保できるので基部アンカーおよび基部拘束の施工が可能であることから、通常の「鋼板巻立て樹脂注入工法」を採用することにした。

以上の結果、橋脚と建物とのクリアランスが1m以上確保できる橋脚は「鋼板巻立て樹脂注入工法」、クリアランスが1m以下で作業員が入れる橋脚については「炭素繊維巻立て工法」、クリアランスが少なく作業員が入れない橋脚については「鋼板巻立て(差込式)樹脂モルタル注入工法」で施工を行うことを基本とした。

よって、各工区の補強方法は以下のとおりである。

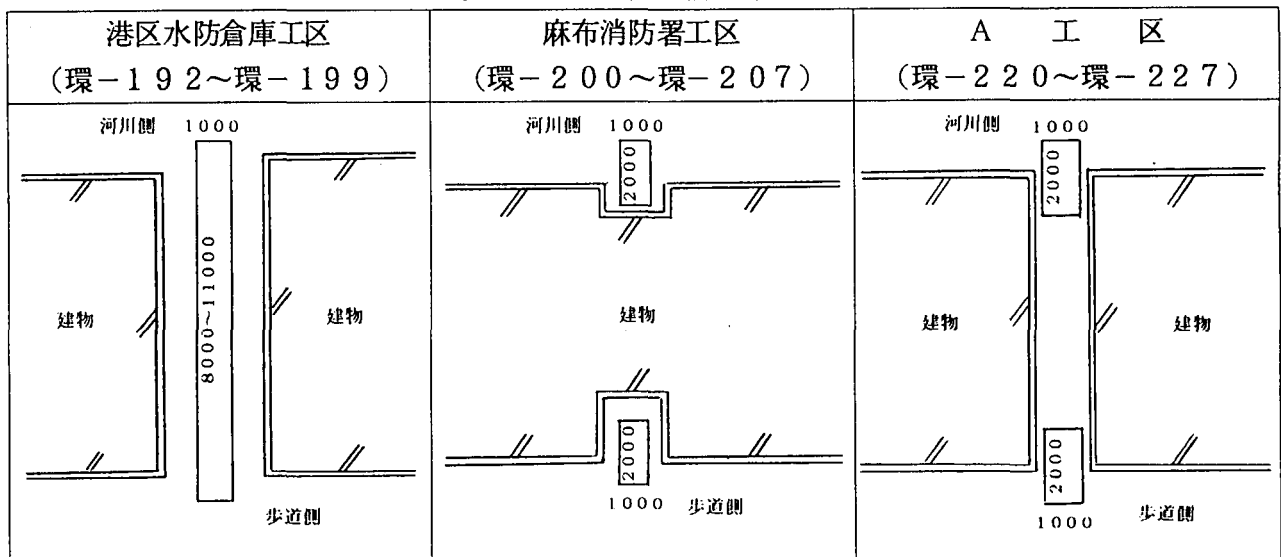
港区水防倉庫工区⇒「鋼板巻立て樹脂注入工法」8橋脚

麻布消防署工区 ⇒作業員が入れる橋脚：「炭素繊維巻立て工法」4橋脚

作業員が入れない橋脚：「鋼板巻立て(差込式)樹脂モルタル注入工法」4橋脚

A工区 ⇒「鋼板巻立て(差込式)樹脂モルタル注入工法」8橋脚

表-2 各工区の橋脚平面図



4. 炭素繊維巻立て工法の適用事例

4.1 炭素繊維

炭素繊維は直径7～14 μm の連続繊維である。連続繊維には炭素繊維、アラミド繊維、ガラス繊維をはじめ、数多くの種類があるが、強度、剛性の点から構造物の補強材として利用の可能性のあるのは上記の3種類である。この3種類の連続繊維と鉄筋およびPC鋼材の応力-ひずみ関係を図-2に示す。これらの連続繊維については兵庫県南部地震以前において試験的に使用されてきたが、施工条件等の関係で兵庫県南部地震以降用されるようになった。なかでも炭素繊維については、他の連続繊維に比べると高強度であり、弾性係数がはるかに高い。また軽量かつ耐久性に優れており、異形鋼棒(SD295A)と比較して約8～10倍、弾性率がほぼ同等の引張特性を示すので、一番使用頻度が高くなっている。

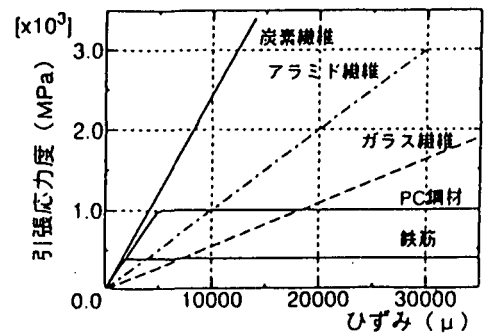


図-2 応力-ひずみ関係

炭素繊維の力学的特徴についてさらに鉄筋と比較すると、鉄筋にみられるような降伏現象がなく、伸びが小さい。機能的な特徴としては、鋼材と比較してはるかに軽量で、錆びないので耐久性があり、柔軟性があることである。構造物の補強に用いるには、このような材料の力学的・機能的特徴を理解したうえで適切な利用を図る必要がある。

炭素繊維は原料により2種類に分けられる。一つは石油や石炭ピッチを原料とするピッチ系と、ポリアクリルニトロを原料とするPAN系があり、補強に用いる製品の形態は一般に炭素繊維ストランドと炭素繊維シートである。前者は炭素繊維の素線を束ねて糸状にしたもので、後者は素線を一方方向に敷き並べてシート状にしたものである。

4.2 炭素繊維巻立て工法の適用方法

ここでは施工性を考慮し、炭素繊維シートを使用するものとする。炭素繊維補強工法概念図を図-3に示す。既設RC橋脚の炭素繊維シートによる補強は次の2種類が基本となる。

- ①「曲げ耐力向上補強」：コンクリート表面の部材軸方向に貼り付けて主鉄筋を増設した効果を発揮させ、曲げ耐力を向上させる。
- ②「じん性向上補強」：表面の横拘束筋方向に巻き付けて横拘束筋を増設した効果を発揮させ、変形性能を改善させる。

工法の選定により、「炭素繊維巻立て工法」を行う橋脚は、麻布消防署工区の4橋脚(環-201, 203, 206, 207)である。4橋脚については、施工条件により基部アンカーおよび基部拘束の施工が不可能である。よって、横拘束筋としての補強である②のじん性向上補強のみとしたので、使用する炭素繊維シートは横拘束筋方向のみとし軸方向には炭素繊維シートを貼りつけないものとする。この場合、簡便法で照査を行うと $P_a < Khe \cdot W$ となり補強効果が十分でない結果となるが、非線形性を考慮した動的解析を行った結果 $P_a > M/H$ となり耐力が確保されることが確認できた。

補強効果の確認も含めて、炭素繊維シートの層厚算定を次の手順で行った。

- ①簡便法で、「鋼板巻立て工法」によるじん性向上補強のみの鋼板厚を算出する。 $(P_a < Khe \cdot W)$
- ②鋼板と炭素繊維の引張強度の比で、鋼板厚を炭素繊維シート厚に換算を行う。

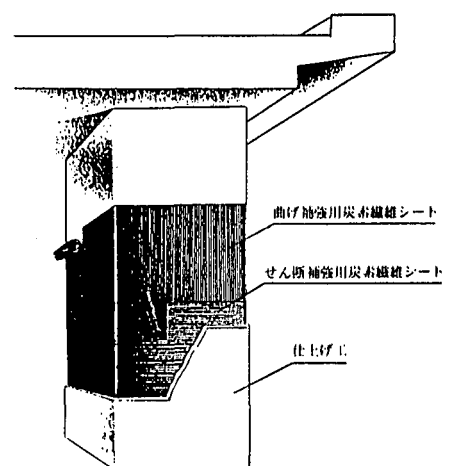


図-3 炭素繊維補強の概念図

③換算された炭素繊維シート厚を1層あたりの炭素繊維厚で割って層厚を算出する。層厚の算出において炭素繊維目付量の違いで、使用する炭素繊維の1層厚が違うので、基本的に炭素繊維の積層数は9層までとして炭素繊維の仕様を決定する。

④非線形性を考慮した動的解析を行い橋脚の耐力を確認する。耐力が確保されることが確認できれば、その場合の補強方法で施工を行うものとする。

以上の手順により炭素繊維シートの積層数の算出を行うことにした。簡便法による鋼板のみの照査では、環-201, 203 橋脚がSS400, 9mm、環-206, 207 橋脚がSS400, 14mmとなった。換算方法は次のとおりである。

◎換算方法

炭素繊維引張強度：35,000kgf/cm²×2/3=23,300kgf/cm²

炭素繊維1層厚さ：0.167mm (300g/m²)

・計算式

$$t_{cf} = \sigma_{sy} / \sigma_{cf} \cdot t_{sy}$$

t_{cf} : 炭素繊維厚 (mm)
 t_{sy} : 鋼板厚 (mm)
 σ_{cf} : 炭素繊維引張強度 (kgf/cm²)
 σ_{sy} : 鋼板引張強度 (kgf/cm²)

1) SS400, 9mmの場合 (環-201, 203)

2) SS400, 14mmの場合 (環-206, 207)

$$t_{cf} = 2,400 / 23,300 \times 9 = 0.927 \text{ mm}$$

$$t_{cf} = 2,400 / 23,300 \times 14 = 1.442 \text{ mm}$$

$$0.927 / 0.167 = 5.6 \text{ 層} \Rightarrow 6 \text{ 層}$$

$$1.442 / 0.167 = 8.6 \text{ 層} \Rightarrow 9 \text{ 層}$$

4.3 施工方法

炭素繊維による補強工法の施工手順を図-4に示す。

①下地処理工：炭素繊維シートがコンクリートと一体となるように、コンクリート表面の劣化層の除去や凹凸を削り取って平滑にするなどの下地調整をする。施工面に著しい欠損部分がある場合には、断面復旧を行う。鉄筋露出のある場合は、防錆剤にて防錆処理を施す。

②面取り工：矩形断面橋脚の場合には、出隅部にR=50mm以上の面取りを行う。

③プライマー工：コンクリートの表面を強化し、炭素繊維シートとコンクリートとの接着強度を得るため橋脚にプライマーを塗布する。この際、コンクリート表面が十分乾燥していることを確認する。

④炭素繊維シート貼付け工：エポキシを主成分とする含浸・接着樹脂で、炭素繊維シートを横拘束筋方向に必要枚数貼付けて積層する。繊維方向の継手部はラップ長20cmとし、幅方向にはラップ部を設けない。含浸・接着樹脂は、炭素繊維シートに浸透し、炭素繊維を一体化させて引張強度を発揮させる結合剤の役目とコンクリート表面に接着させる接着剤の役目を兼ねるものである。

⑤仕上げ工：炭素繊維シートを保護する役目としてモルタルや塗装などで表面の仕上げをする。

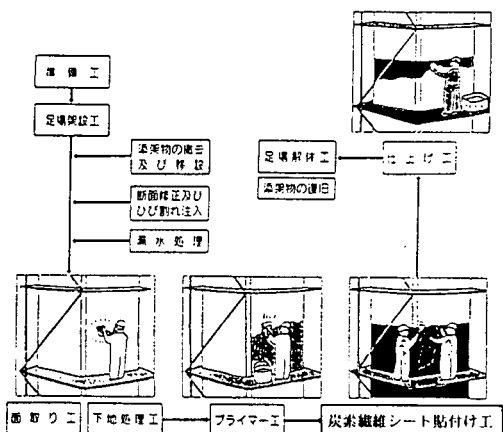


図-4 炭素繊維巻立て工法の施工手順

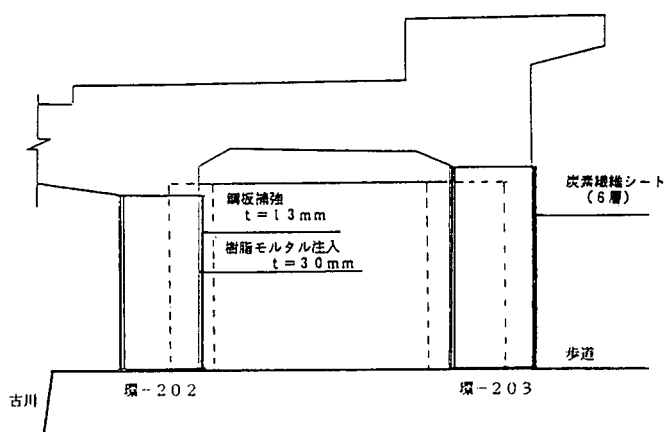


図-5 麻布消防署工区補強図

以上の手順より「炭素繊維巻立て工法」の施工を行うことにした。今回、施工を行った橋脚と建物とのクリアランスが少なく、作業員が入るのがやっとなのである。炭素繊維シートを貼付けるにあたり、1層1枚として積層していくことが理想であるが、施工空間が狭いことから1層につき炭素繊維シートを2・3分割して施工を行った。繊維方向のラップ長については、重ね継手試験の結果から10cm以上あれば十分である。しかし、重ね継手長は引張強度に影響を及ぼすことも考えられるので、日本道路公団の施工仕様に準じて、『20cmのラップ長』とした。面取りにおいても、半径Rが小さくなれば引張強度が低下するので、できるだけ大きく面取りを実施することが望ましい。半径R=50mmの場合引張強度の低下が約6%程度であることから、日本道路公団の施工仕様に準じて『R=50mm以上』とした。

4.4 ポリマーセメントによる仕上げ工

炭素繊維巻立てを行う橋脚で、歩道および高架下駐車場に面した部分があることから塗装のみの仕上げとすると炭素繊維シートが損傷する恐れがある。よって、歩道面および駐車場面についてはポリマーセメント $t=10\text{mm}$ （4層仕上げ：下塗り、プライマー、中塗り、上塗り）で塗付を行い、さらにウレタン系で仕上げ塗装を行った。また、上記のポリマーセメントは橋脚に対して部分施工も可能であることから、図-6に示すとおり橋脚の建物面については塗装仕上げ（2層塗り：中塗エポキシ系、上塗ウレタン系）のみとした。

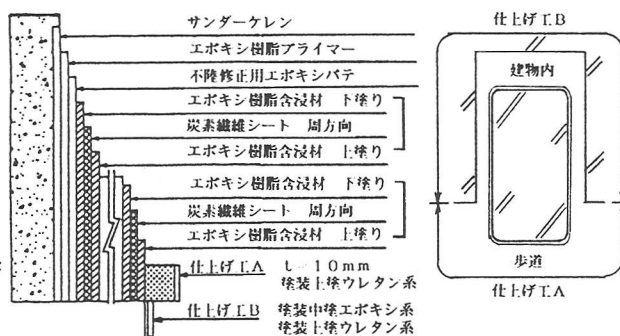


図-6 炭素繊維巻立て工法仕上工図

4.5 炭素繊維巻立て工法の今後の課題

炭素繊維シートは、コンクリート面に巻き付けることによりコンクリートが拘束されると考えられ、コンクリートの圧縮強度や破壊ひずみの増大を期待できる場合がある。また、今回のように施工条件により基部拘束を行うスペースがない場合があり、炭素繊維による基部拘束効果を期待する場合がある。炭素繊維を用いた場合の拘束効果は、小さな供試体では確認しているが実構造物での効果については今後の検討課題である。壁式橋脚での使用においても、横拘束効果に疑問が生じるので併せて検討課題とする。

また、今回基部アンカーによる曲げ耐力抑制式の補強は施工条件により不可能であったが、炭素繊維においても基部の曲げ耐力を向上させる必要がある場合もある。炭素繊維は降伏がない材料であるので、降伏がある鋼材みたいな材料と組み合わせることにより橋脚基部の曲げ補強も可能であると思われるが、確実に補強ができる方法の開発が必要である。

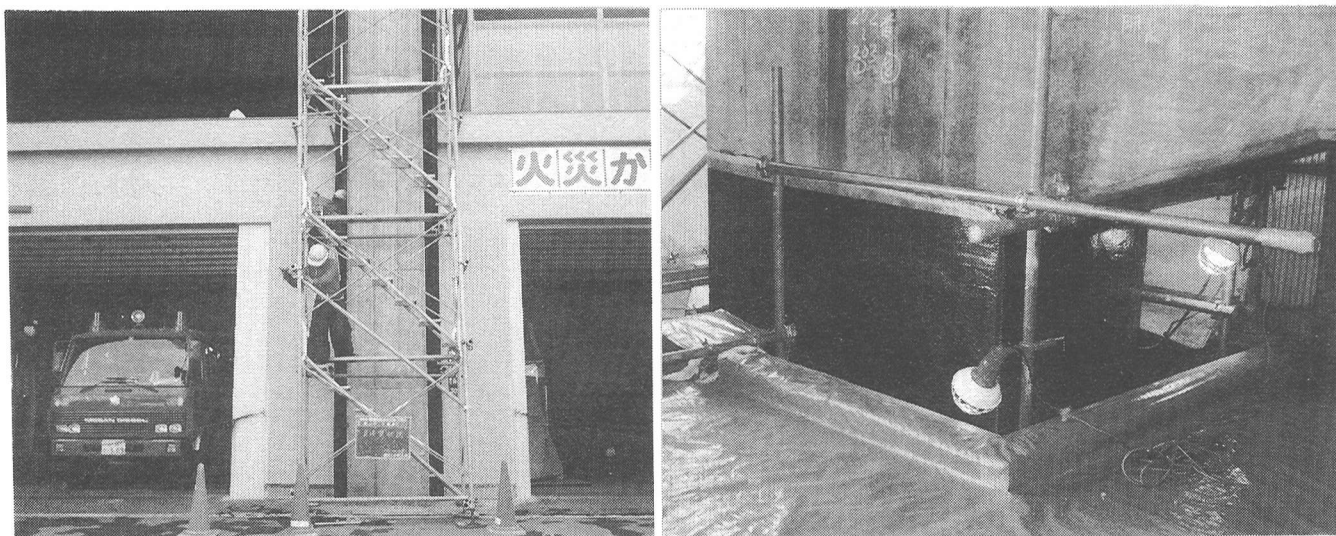


写真-1, 2 炭素繊維巻立て工法施工写真

5. 鋼板巻立て樹脂モルタル注入工法の適用方法

麻布消防署工区およびA工区において、橋脚と建物とのクリアランスが少なく作業員が入れない橋脚については、「鋼板巻立て(差込式)樹脂モルタル注入工法」で補強を行った。対象となる橋脚は、環-200, 202, 204, 205, 220~227の12橋脚である。基部補強(基部アンカーおよび基部拘束)については、施工条件により不可能である。簡便法で橋脚の照査を行うと耐力が確保できない橋脚があるが、非線形性を考慮した動的解析により耐力が確保されることが確認できた。

橋脚に建物が接近しているため、鋼板8分割のエポキシ樹脂注入 $t = 4\text{ mm}$ による「鋼板巻立て樹脂注入工法」だと溶接および鋼板固定アンカーの施工ができない部分があり、樹脂注入において不都合が生じると考えられる。したがって、補強鋼板と橋脚の間隙を30mmとして鋼板を2~4分割にして差込式により鋼板を取付け樹脂モルタルにて充填を行った。橋脚に建物が接近している部分は水平方向の溶接が不可能であるので、図-8のとおり鋼板接続部において表面と裏面に鋼製ガイドを取付けて、補強鋼板の差込時に上・下の鋼板が一体になるように鋼板接続部の加工を行った。

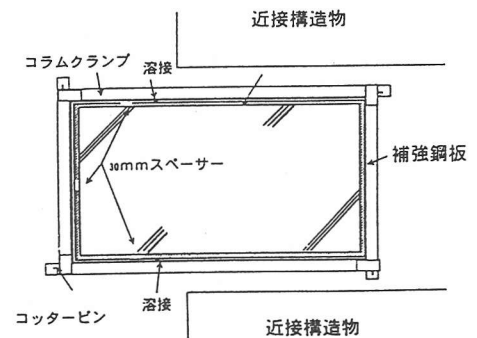


図-7 鋼板固定詳細図

充填材に樹脂モルタルを選定した理由は、このような条件下において一般的なエポキシ樹脂を使用すると硬化時の過度な反応熱による発泡・亀裂、大きな硬化収縮による被着体との界面剥離、工事費の増大等が考えられるため不適切である。したがって充填材には、従来のエポキシ樹脂と比較して、①「硬化反応熱が低い」、②「硬化収縮が小さい」、③「熱膨張率が小さい」、④「弾性率が高い」、⑤「湿潤面接着力が高い」、⑥「硬化樹脂への接着力が高い」、⑦「経済的である」等の理由で樹脂モルタルを選定した。

また、鋼板固定アンカーの施工ができない部分があり充填材の注入に際して鋼板が固定されておらず、はらむ可能性がある。よって、図-7に示すとおりコラムクランプを取付けコッターピンにて締付けを行って鋼板固定をし、充填材の注入後硬化が確認された段階でコラムクランプの取外しを行うこととした。

図-8に示すとおり歩道側橋脚において2層式の形式となっている。施工条件により補強方法がじん性向上補強のみであるので、上・下段単独柱として扱い上・下段違う鋼板厚にて補強を行った。ただし、上段については、建物の上空部分に橋脚があることから施工を円滑に進めるためコの字型の2分割にて鋼板を取付け、下段と同じ樹脂モルタルにて充填を行った。

なお、ここではじん性向上補強のみであるので水平方向の溶接を行わず横拘束筋としての補強のみである。しかし、今後曲げ耐力抑制式の補強についても考慮する場合があるので、軸方向筋として鋼板を扱えるよう水平方向の継手方法について検討を行う必要がある。

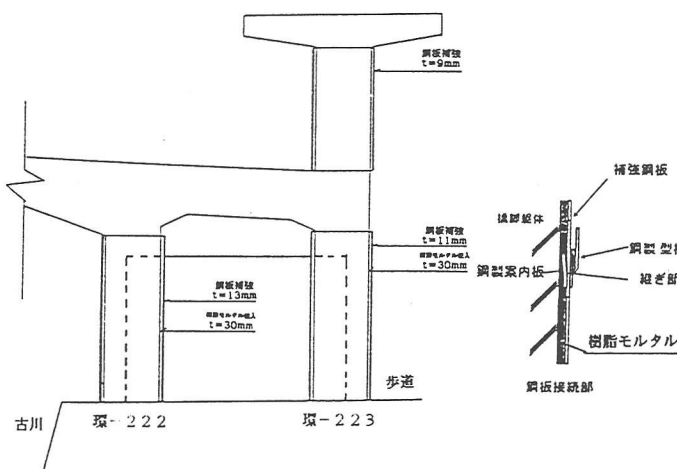


図-8 A工区補強図

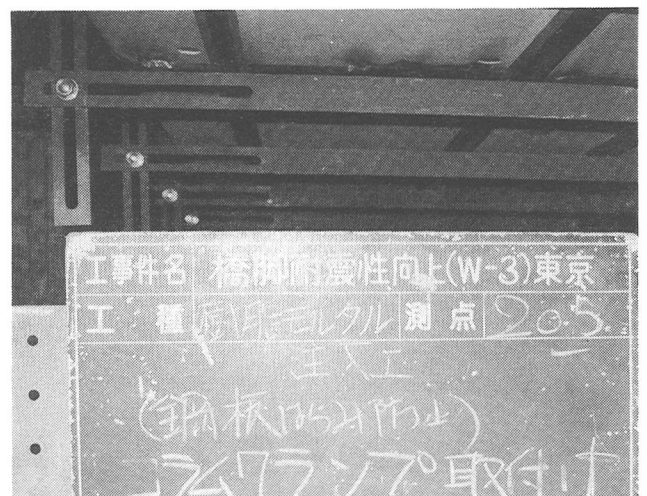


写真-3 鋼板巻立て樹脂モルタル注入工法施工写真

6. 非線形性を考慮した動的解析

麻布消防署工区およびA工区においては、簡便法で照査を行うと $Pa < Khe \cdot W$ となり補強効果が十分でない結果となる。これらの橋脚について、非線形性を考慮した動的解析を行うために図-9のとおり4グループに区分けを行った。区分けにおいて、対象となる橋脚がラーメン形式になっているが、芝公園ランプの合流付近で河川側に梁が張出していることから上部構造重量が河川側と歩道側で大きく相異しているため4グループとした。また、各グループの中で簡便法による照査の結果($Pa / Khe \cdot W$)が一番厳しい橋脚について着目すると、③グループについては簡便法で耐力が確保される結果となった。よって、それ以外のグループにおいて、それぞれ一番厳しい橋脚で動的解析を行った。

グループ別に選択した杭基礎橋脚(①グループ:環-204(河)、②グループ:環-203(歩)、④グループ:環-223(歩))を柱モデルで30分割程度にモデル化し、橋脚の曲げに対する非線形性を考慮して、非線形地震応答解析を行った。

橋脚の非線形性は武田モデルで評価を行った。杭の側方には地盤ばねを考慮し、入力地震動はその地盤ばねを介して杭の側方から入力を行った。入力地震動は、地盤種別がⅡ種地盤であることから兵庫県南部地震においてJR鷹取駅で観測された観測波(EW, Max. 666Gal)を使用した。また、入力する橋脚のM-φ特性は簡便法で求められたM-φ特性を入力した。

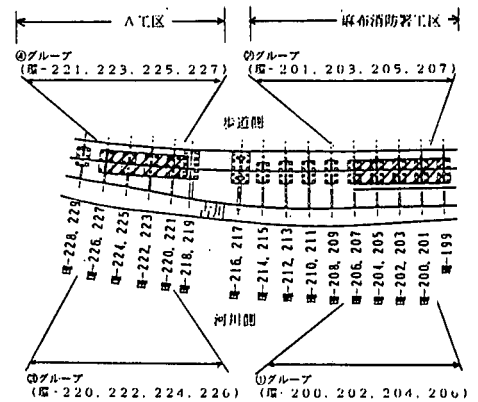


図-9 グループ分け図

解析方法は非線形直接積分法で行い、数値積分法はNewmark-β法($\beta=1/3$)を使用した。解析時間は20秒間で積分時間間隔を0.0025秒とした。減衰定数は、橋脚を5%、地盤ばねを20%で設定し、モード減衰定数を歪エネルギー比例型で評価した。ただし、減衰マトリックスを作成する際に、数値解析上の安定性を得るために、20Hz以上の高周波のモード減衰定数は臨界減数(100%)とした。

解析の結果、動的解析で求められた各橋脚の曲げモーメントは、簡便法で求められた終局曲げモーメントに対して10~20%程度低減(Ⅱ種地盤の場合)する結果となった。

表-3の動的解析結果より、簡便法で耐力が確保できない①②④グループの全橋脚において耐力が確保されていると判断した。

表-3 動的解析結果表

グループ別	橋脚番号	補強方法	簡便法 $Pa / [Khe \cdot W]$	動的解析 $Pa / [M/H]$
①グループ	環-204(河)	SW490Y14mm	0.99	1.21
②グループ	環-203(歩)	炭素繊維6層	0.79	1.06
③グループ	環-222(河)	SS400 13mm	1.02	—
④グループ	環-223(歩)	SW490Y11mm	0.81	1.08

7. おわりに

兵庫県南部地震以降、耐震補強における研究・技術開発は日進月歩の状態である。炭素繊維においても今までは適用事例が少なく実験段階であったが、軽量かつ柔軟性があることから兵庫県南部地震以降、数多くの施工実績を挙げていると報告されている。特に、その施工性の良さが既存構造物の補強および施工環境の制約という点から高く評価されているが、今後の課題を有しており継続的な検討が期待されているところである。