

報告

[1172] 実橋床版の下面増厚による補強確認試験

石井 孝男*1・渡辺 裕一*2・佐藤 貢一*2・川合 初雄*3

1. はじめに

鉄筋コンクリート(以下RCと記す)構造物は建設構造物の中で最も多く使用される構造形式の一つであり, その理由としては建設コストが低く, メンテナンスフリーの半永久的な構造物として考えられてきた。しかしながら, 当初想定したより早期にその劣化および損傷が報告されて久しく, その原因として道路構造物にみられるような重量交通による疲労劣化等が上げられる¹⁾。また特に鋼橋RC床版は走行車両の重量規制も大型化され, 早急な対応が望まれている。

本研究は鋼橋RC床版の損傷に対し床版下面に所定の鉄筋を配置し, PAE系特殊ポリマーモルタル(ポリアクリル酸エステル共重合体系ポリマーモルタル:以後PPモルタル)で一体化する下面増厚工法について論じたものである。この工法は交通規制を必要とせず, 天候等の制約を受けず施工が可能であり, さらに既設床版と施工部の一体性が高くRC部材として機能を十分に発揮できる等の利点を有している。本報告では実橋の補強効果を確認する目的で, RC床版の施工前後(6カ月後²⁾, 1年後)における諸性状を計測し, その結果を解析した。また既設床版と施工部の一体性も確認した。

2. 下面増厚工法の概要

2.1 PPモルタルの性状

PPモルタルはエマルジョンと白セメントと珪砂からなるコンパウンドを1:6.5で練り混ぜ製作した。その性状は表-1に示すように曲げ, 引張, 付着強度が特に高い。このためコンクリート及び補強鉄筋と十分な接着効果が期待でき, さらに塩害, コンクリートの中酸化, 凍結融解作用に強く耐候性に優れていることからコンクリート構造物の耐久性向上も期待できる。

下面増厚工法では損傷及び破壊の過程において, 施工部分の剥離等が問題となる。これまでの室内

実験で曲げ部材の引張側を補強筋とモルタルを用いて施工する場合, 同一曲率において補強部分と曲げ部材の接着界面の作用せん断付着応力がモルタルの弾性係数に比例して増加し, 付着強度の高い材料を使用しないと早期剥離に至り補強効果が発揮できないことが

表-1 PPモルタル性状

圧縮強度	曲げ強度	弾性係数	凍結融解	促進耐候性試験
239 (kgf/cm ²)	61.0 (kgf/cm ²)	1.19x10 ⁻⁵ (kgf/cm ²)	300 cycle 異常なし	3000時間 異常なし
引張強度	付着強度	塩水噴霧	中性化	耐アルカリ性
26.3 (kgf/cm ²)	25.1 (kgf/cm ²)	3000時間 異常なし	コンクリートの 1/5	96時間浸漬 異常なし

分かっている。したがって, PPモルタルのように弾性係数の低いフレキシブルなモルタルを用い施工することが, 下面からの対策では良好であると言える³⁾。

*1 石川島播磨重工業 橋梁事業部 部長, 工博(正会員)

*2 奈良建設(株) 土木事業部技術部土木技術研究所研究員(正会員)

*3 日本道路公団 東京第一管理局富士管理事務所改良助役

2.2 下面増厚工法

本工法は、サンドブラストによりRC床版下面の脆弱層を取り除き表面処理を行った後、図-1に示すように補強鉄筋(D6 橋軸 @50, 橋軸直角 @200)を床版下面にアンカーで固定し、3層に分けてPPモルタルをコテ塗りにより所定の厚さ(18mm)まで増厚し床版との一体化を行った。補強鉄筋は、現状のRC床版設計法に基づき既設床版で不足する鉄筋量を補った。PPモルタルの中性化速度がコンクリートの1/5であること、また接着強度が高く、防錆作用を有することから、本工法では補強部分のかぶり厚さを6mmとした。

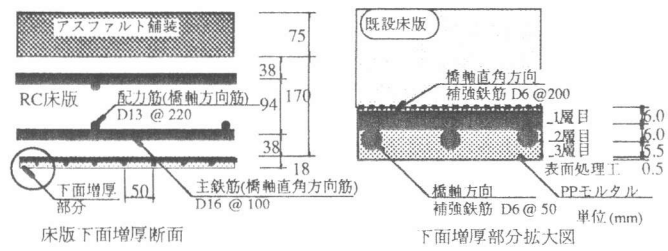


図-1 床版下面増厚断面図

2.3 実施工

本橋梁は橋長79mの3径間連続の鋼鉄桁橋である。計測を行った測点1, 2を図-2に示す。床版の損傷状況は測点1(無補強箇所)が2方向ひびわれが発生しているが遊離石灰はなく、測点2(下面増厚箇所)は0.2mm ~ 0.7 mm程度のひびわれが2方向に発生し部分的に亀甲状となり、1パネルにつき数カ所の遊離石灰や錆汁が認められた。

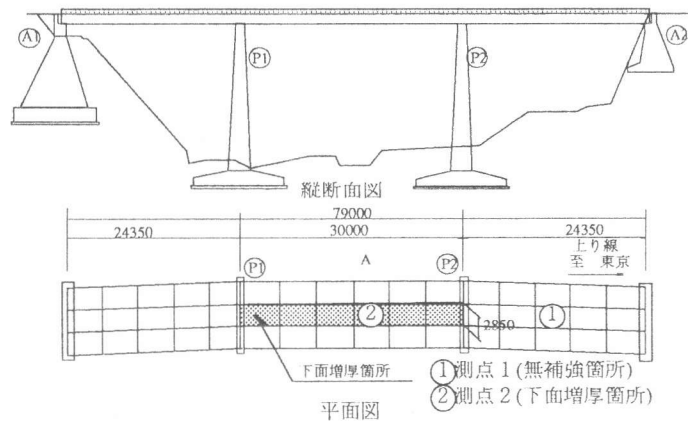


図-2 橋梁概要図

3. 確認計測

3.1 計測方法

(1) 床版計測

計測は表-2に示すように、RC床版の既設鉄筋(橋軸方向G1, 橋軸直角方向G2), 施工後の補強鉄筋(橋軸方向G3, 橋軸直角方向G4)の応力度を各鉄筋に張り付けた抵抗ひずみ線ゲージにより測定した。たわみ変位量は図-3に示すように主桁を不動点としてRC床版(D1)及び増設桁(D2)を変位計により測定した。測定箇所は下面増厚を行わない測点1と、下面増厚を行った測点2とし、なお各測点における鉄筋の応力度、たわみ変位量の計測位置は主桁、増設桁および横桁で囲まれたパネルの中心部とした。補強前後で増厚効果を比較するために、計測は施工前、施工後6カ月及び1年後に実施した。計測は交通開放下で4日間連続的に諸数値を測定することによって行った。測定方法は鉄筋応力度(±25kgf/cm²以上)及び床版たわみ量(±0.02mm以上)が生じたときに、計測値と測定回数が記録される頻度解析システムになっている(レインフロー法)。したがって補強効果は補強筋が既設床版の鉄筋応力を負担することにより、既設床版鉄筋応力度やたわみ量の計測値と測定回数の頻度が減少することによって示される。

表-2 計測項目一覧表

計測位置 対策方法	測点NO.1 無補強	測点NO.2 下面増厚工法
床版内鉄筋応力 ひずみ線ゲージ	橋軸方向G1-1 橋軸直角方向G2-1	橋軸方向G1-2 橋軸直角方向G2-2
補強鉄筋 ひずみ線ゲージ		橋軸方向G3 橋軸直角方向G4
たわみ変位量 変位計	床版たわみD1-1 増桁たわみD2-1	床版たわみD1-2 増桁たわみD2-2

(2) コア抜き供試体の純引張試験

補強後1年経過した下面増厚箇所と既設床版との接着強度を確認する目的で純引張試験を行った。試験は図-4に示すように、円柱供試体（5箇所）を抜き取り直径100mm、高さ50mmに整形し、純引張試験を行った。

3.2 交通量

日交通量や大型車混入率を合わせるため、計測日数は連続4日間として曜日を合わせて補強後の計測を行った。施工前の走行台数116077台、大型車混入率は47.3%、施工後6カ月は111919台、45.3%、1年後は118510台、47.4%であり、測定値に及ぼす大型車輛はほぼ等しい。

3.3 鉄筋応力度

(1) 橋軸方向鉄筋応力度

4日間の交通開放下での計測における最大最小値を表-3に示す。施工前の橋軸方向鉄筋は179 ~ -229 (kgf/cm²)の応力度（正：引張応力度，負：圧縮応力度）が計測されたが，施工後6ヶ月では179 ~ -151 (kgf/cm²)に低減した。下面増厚を行った測点2の橋軸方向鉄筋の作用応力値と測定回数との関係を図-5に示す。施工後の既設床版の軸方向鉄筋の応力度と測定回数の頻度は施工前の値と比較して大幅に低減している。これは表-3の補強鉄筋に作用する応力度と測定回数が既設床版橋軸方向鉄筋のそれと同程度であることから分かるように，補強鉄筋が応力負担することにより，床版内鉄筋の応力負担を低減させたことによるものと考えられる。

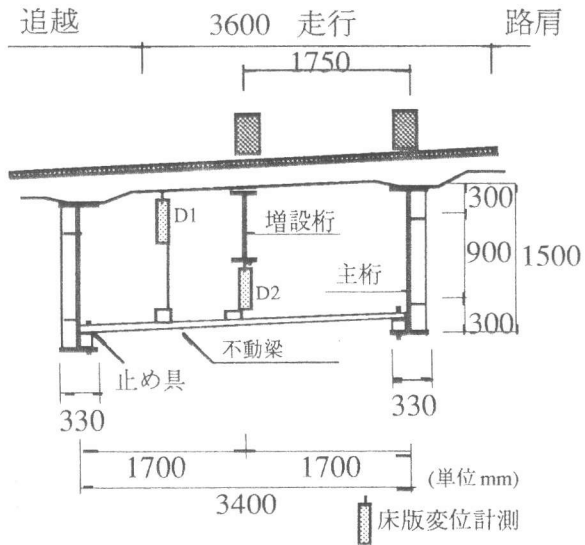


図-3 たわみ量計測状況図

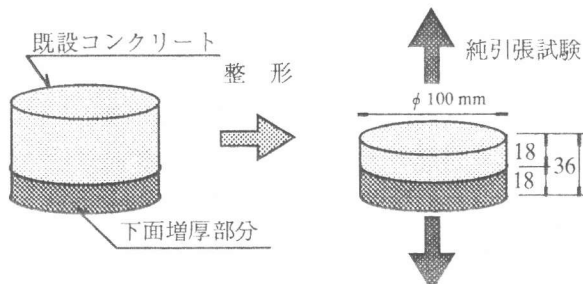


図-4 純引張試験方法

(2) 橋軸直角方向鉄筋応力度

施工前の橋軸直角方向鉄筋は330 ~ -151(kgf/cm²)の応力度が計測されたが，施工後6カ月に204 ~ -101(kgf/cm²)，1年後で254 ~ -101(kgf/cm²)に低減した。測点2の施工前後の橋軸直角方向鉄筋応力度と測定回数のグラフを図-6に示す。施工後の既設床版内鉄筋の作用応力度と測定回数の頻度は低減し，特に引張側の応力度と測定回数の頻度の低減が顕著に表れている。

表-3 計測結果一覧表

測定項目			測定箇所 NO.1 無補強	測定箇所 NO.2 下面増厚補強
橋軸方向鉄筋応力 (kgf/cm ²)	補強前	床版内鉄筋	126 ~ -151	179 ~ -229
	補強後6カ月	床版内鉄筋 補強鉄筋	101 ~ -204	179 ~ -151 151 ~ -126
	補強後1年	床版内鉄筋 補強鉄筋	151 ~ -151	179 ~ -179 126 ~ -101
橋軸直角方向鉄筋応力 (kgf/cm ²)	補強前	床版内鉄筋	204 ~ -151	330 ~ -151
	補強後6カ月	床版内鉄筋 補強鉄筋	254 ~ -101	204 ~ -101 229 ~ -76
	補強後1年	床版内鉄筋 補強鉄筋	229 ~ -126	254 ~ -101 254 ~ -76
床版たわみ D1	補強後6カ月		0.319 ~ -0.563	0.263 ~ -0.563
	補強後1年		0.525 ~ -0.563	0.206 ~ -0.600
増桁たわみ D2	補強後6カ月		0.375 ~ -0.600	0.300 ~ -0.600
	補強後1年		0.563 ~ -0.600	0.225 ~ -0.600

鉄筋応力 +引張 -圧縮

たわみ量 +上 -下

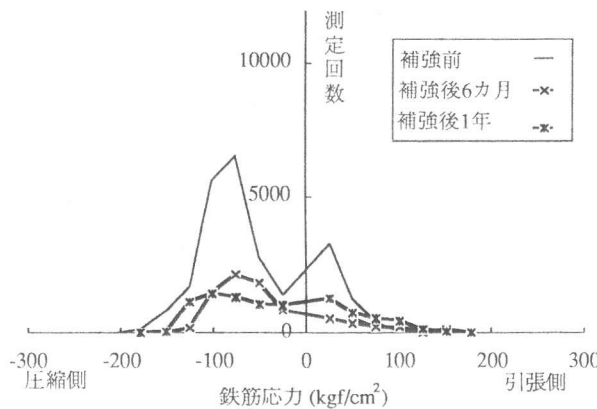


図-5 測定回数と橋軸方向鉄筋応力度

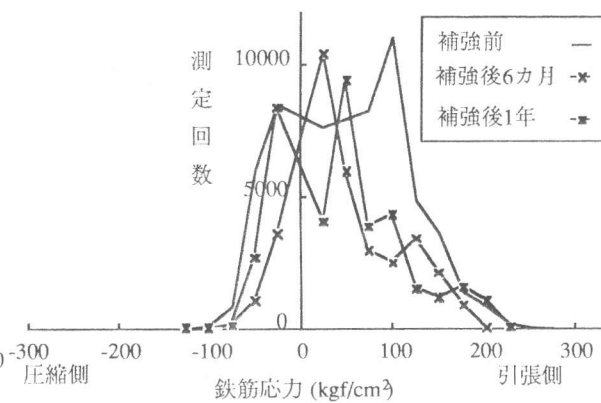


図-6 測定回数と橋軸直角方向鉄筋応力度

3.4 たわみ

主桁を不動点として計測したRC床版中央部のたわみ変位量に関して、施工を行った測点NO.2と無補強の測点NO.1の比較を図-7に示す。測点NO.2は下面増厚を行うことによってたわみ量とその回数の頻度は低減し、特に下方変位の低減が顕著であった。

3.5 純引張試験

コア抜き供試体の純引張試験結果を表-4に示す。なお、引張強度の平均値は11.6kgf/cm²であった。強度の低い1-1, 1-2はコンクリート部で破断し、モルタル部及び付着面で破断した供試体は11kgf/cm²以上を示した。1-1及び1-2の破断要因として、既設床版の損傷が他よりも進行していた為、コンクリート部で破断したと考えられる。本工法は、交通振動下の下面から、PPモルタルによる増厚施工であったが、付着面及びモルタル部での破断の場合には十分な付着強度が得られたと考えられる。

4. 解析

解析するにあたって実交通荷重の大きさと輪荷重の走行位置を求める必要がある。しかし、東名高速道路では通行止めが不可能なため、ここではデータ分析をもとに算出した。すなわち、本線内（日本平PA付近）に設置されている軸重計を分析することにより実交通荷重の大きさを、また舗装の輪だち掘れ調査から輪荷重の走行位置を求めた。

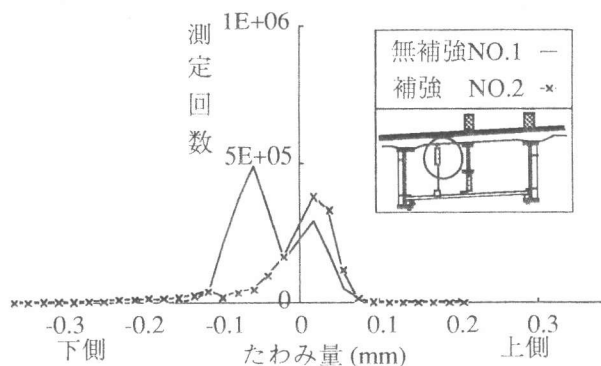


図-7 測定回数と床版たわみ量（1年後）

表-4 純引張試験結果

供試体番号	付着強度 kgf/cm ²	破断位置
1-1	10.1	コンクリート部
1-2	8.0	コンクリート部
1-3	14.7	モルタル上部
2-2	14.4	付着面
2-3	11.8	付着面

4.1 実交通荷重の大きさ

本橋梁は富士IC～清水IC間にあり軸重計近傍にあるため、交通量もほぼ等しい状況である。また長期間（平成2年4月から12月まで）のデータ記録をもとに、軸重及び車重に関する分析が行われている⁴⁾ことから、解析にあたって図-8に示す軸重頻度分布図を使用した。本解析に使用した荷重は平均値より 3σ の範囲とし軸重で0～20tの範囲とした。なお、車種は大型車種・トレーラー類の大型車合計から求めた。

4.2 輪荷重の走行位置

アスファルト舗装は瀝青材料の使用により、たわみ性があり輪荷重による変形に対して順応しやすく、輪だち掘れは大型車の集中走行により道路幅員方向に生じる路面の凹凸である。本橋梁の輪だち掘れ調査から求めた進行方向左車輪の位置は図-9に示すように、幅員幅（B）に対し $0.805B$ となった。

4.3 解析手法

本床版の解析は図-9に示されるような床版スパン3400mmのモデルで検討した。既設床版の主鉄筋応力度の算定は床版を梁に近似（有効幅を用いた一方向床版の近似計算⁵⁾）して行った。この主鉄筋応力度の補強前と下面増厚後の計算結果を図-10に示す。また床版のたわみ量の算定をスパン中央部に輪荷重を作用させた2辺単純支持直行異方性無限床版モデル⁶⁾により算定し図-11に示す。いずれの解析においても増桁の荷重負担分は、増桁の最大たわみ量からバネ定数を求め算定し、輪荷重から低減した。

4.4 解析結果

床版を梁に近似した解析の結果、既設床版の主鉄筋に作用する応力度は図-10に示されるように増厚後約0.57程度に低減した。図-8の大型車両軸重分布に示される軸重平均値は7.1tで、この荷重すなわち図-10の輪荷重3.6t（輪荷重＝軸重7.1t/2）での主鉄筋応力度は補強前 140kgf/cm^2 、増厚後 80kgf/cm^2 となっ

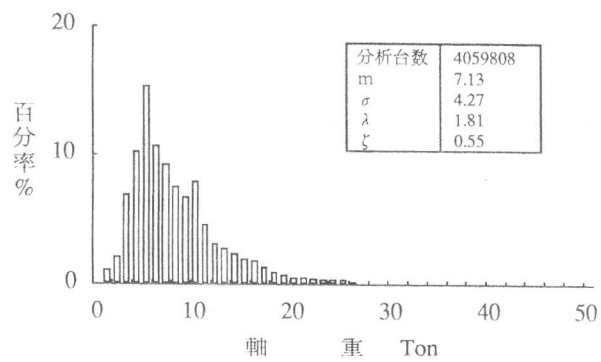


図-8 軸重頻度分布図

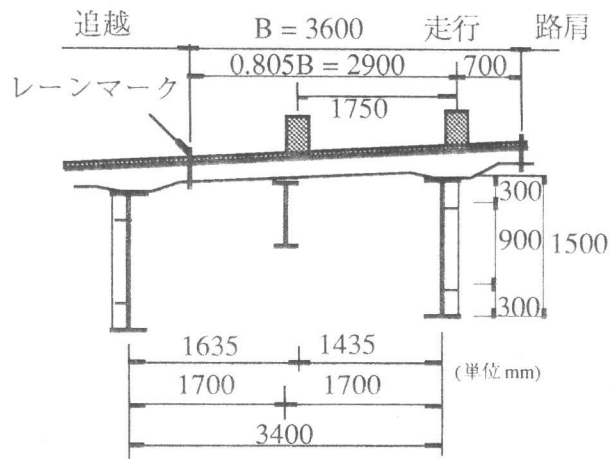


図-9 車両走行位置と上部工構造

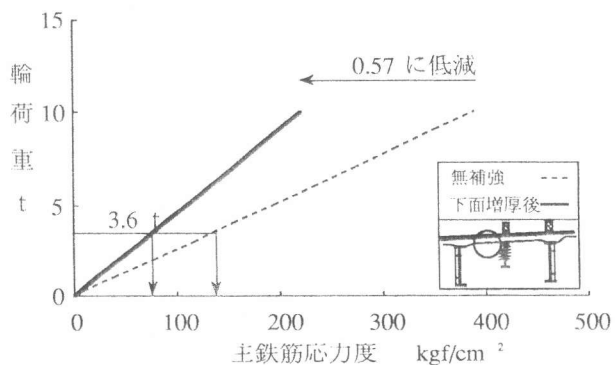


図-10 輪荷重と既設床版主鉄筋応力度の関係

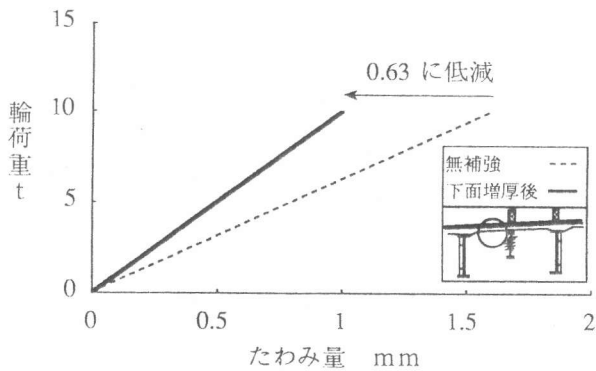


図-11 輪荷重と床版たわみ量の関係

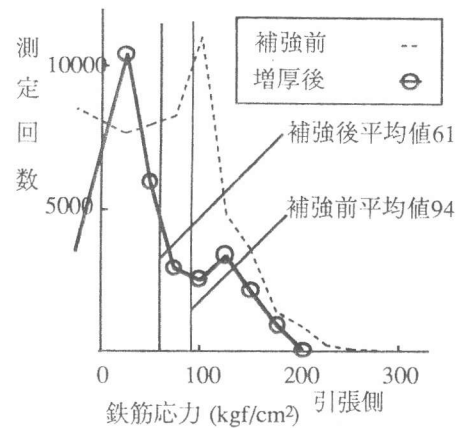


図-12 測定回数と既設床版主鉄筋応力度 (実床版計測結果)

た。図-12に示される実床版での引張側主鉄筋鉄筋応力度の平均値は補強前94kgf/cm²、増厚後61kgf/cm²となり平均応力度は0.65に低減され理論値に近い低減率となっている。さらに図-12中に補強前後においてピークの移動が確認でき(補強前101kgf/cm²、増厚後25kgf/cm²)、この移動量からも応力度の低減が確認できる。

スパン中央部に輪荷重を作用させた2辺単純支持直行異方性無限床版モデルによる床版のたわみ量算定では図-11に示されるように、増厚前後でたわみ量が0.63倍に低減した。図-7のたわみ量の低減も大きいことから算定値に近い効果は発揮されているものと考えられる。

5. まとめ

施工後において床版下面にひびわれは発生せず、既設床版に発生していたひびわれ箇所においてもひびわれは観測されなかった。レインフロー法により計測した結果、本工法は既設床版の鉄筋に作用する応力度、床版のたわみ変位量を低減し作用頻度を減少させ、車両走行に対して床版の耐久性を向上させることができるものと考えられる。また本工事は交通開放下での施工であったが十分な付着強度が得られ、既設床版と増厚床版とが一体となって機能しているものと考えられる。さらに6カ月後及び1年後の計測では、ほぼ同様な補強効果の確認と継続性が示された。

床版を梁に近似した解析手法を用いることによって、既設床版の主鉄筋応力度の低減率に近い低減率が実測で得られたことから、理論上期待される補強効果が発揮されているものと言える。

本施工は人力によるコテ塗り作業で増厚したが、施工の合理化及び効率化が今後の課題と言える。

参考文献

- 1) 前田幸雄・松井繁之：輪荷重移動装置による道路橋床版の疲労に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.6，PP.221-224，1984.6
- 2) 石井孝男・佐藤貢一・大木浩靖・小玉克巳：特殊ポリマーモルタルを用いた鋼橋RC床版の下面増厚工法，コンクリート構造物の補修工法に関するシンポジウム論文報告集，PP.77-84，1992.10
- 3) 佐藤貢一・小玉克巳：FRPを用いて下面増厚補強したRC梁の層間剥離破壊に関する研究，土木学会第47回年次学術講演概要集，平成4年.9
- 4) 石井孝男・篠原修二：東名高速道路の交通荷重測定と荷重特性について，土木学会論文集IV，Vol.17，No.453，PP.163-170，1992.09
- 5) 土木学会コンクリート標準示方書：設計編平成3年版
- 6) 土木学会：構造力学公式集61，6