

RC床版の上面増厚補強に用いられるMMA樹脂 コンクリートの設計法に関する研究

Study on General Design Method of Methyl Meta Acrylate (MMA) Resin Concrete
used for Strengthening of Reinforced Concrete Slabs

堤下隆司^{*}, 栗田章光^{**}, 徳岡文明^{***}, 岡田裕行^{****}

Takashi Tsutsumishita, Akimitsu Kurita, Fumiaki Tokuoka, Hiroyuki Okada

- * 工修 修成建設専門学校教授 土木工学科 (〒555-0032 大阪市西淀川区大和田5-19-30)
 ** 工博 大阪工業大学教授 工学部土木工学科 (〒535-8585 大阪市旭区大宮5-16-1)
 *** 株式会社 菱晃 建材事業部 (〒103-0016 東京都中央区日本橋小網町14-1)
 **** 大阪工業大学大学院 博士前期課程 (〒535-8585 大阪市旭区大宮5-16-1)

As a strengthening method for damaged reinforced concrete slabs, the authors have carried out this study to develop a new method to strengthen and waterproof reinforced concrete slabs, taking advantage of the properties of methyl meta acrylate (MMA) resin concrete. As major one of the mechanical properties of MMA resin concrete, the temperature dependent behavior is pointed out. In designing of this resin concrete, therefore, temperature must be taken into consideration. In this paper the outline of the strengthening method, design consideration, the results of elementary studies, special characteristics of this material, and strengthening design method and its calculated examples are presented and discussed.

Key Words: MMA resin concrete, Thickening method of RC slabs, General design

1. まえがき

損傷RC床版の補修工法の一つとして、著者らは床版防水をも兼ね得るMMA樹脂コンクリート(以下、樹脂コンクリートという)と呼ばれる特殊コンクリートを用いた上面増厚補強工法について開発研究を行っている^{1)~9),12)}。本工法は、損傷RC床版の上面に樹脂コンクリートを増厚し、断面のかさ上げによって剛性を増すことにより補強する工法である。本工法に用いる樹脂コンクリートは、床版の付着性は非常に良好であり、防水効果も十分期待できる^{1),7),8)}。さらに、セメントコンクリート系のものと比較して次のような種々の優れた特性がある。

- (1) 圧縮、曲げ、引張りの強度特性ならびに耐磨耗性に優れる。
- (2) 施工時の厳しい温度条件に対応できる。
- (3) 硬化時間がきわめて短く、早強性である。
- (4) 水密性が良好で、従って防水性、凍結融解に対する抵抗性に優れる。
- (5) 付着強度が高い。
- (6) じん性に富んでいる。
- (7) 耐薬品性、特に耐酸性が良好である。

一方、樹脂コンクリートは、力学特性の温度依存性が大いこと、硬化に伴いコンクリートの乾燥収縮ひずみの6倍程度に相当する非常に大きな収縮ひずみが発生することも確認されており、その影響は無視することはできない。また、既往の研究結果^{1)~9),12)}より、引張側補強に用いる樹脂コンクリートは、高強度よりもじん性効果を期待するため、圧縮側補強に用いる樹脂コンクリートよりも強度を低く設定しているため、床版形式が連続版の中間支点上等の引張側補強部分では、樹脂コンクリートだけによる引張側補強には床版支間長3.0m程度の使用限界があるため、メッシュ筋による部分補強により増厚部の剛性を高める工夫をしている。

以上の様に、樹脂コンクリートを補修・補強材に使用するためには、特殊な要因を把握した上で設計上、どの様に反映するかが問題となる。

そこで、本論文では、これらの諸問題について検討を行い、本工法における樹脂コンクリートの設計用値を提示し、設計法について検討を行ったので、その結果について報告する。

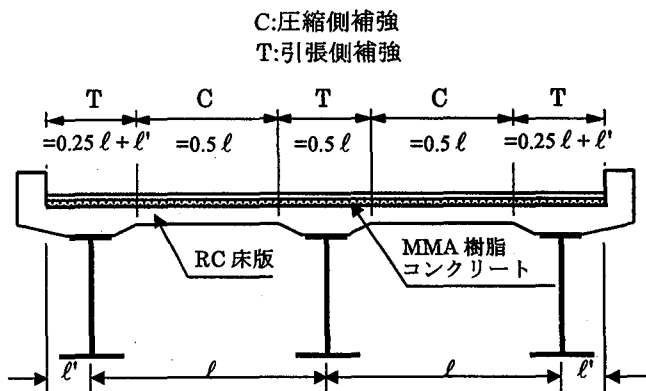


図-1 上面増厚補強工法

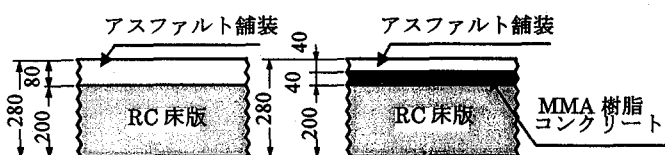


図-2 RC床版断面 (単位: mm)

2. 増厚補強工法の概要

既設道路橋のRC床版に見られる多くの損傷事例は、昭和39年示方書⁹⁾あるいは同種の基準で設計されたものである。その補修・補強の方法として、今日まで主として採用されてきた鋼板接着工法や縦桁増設工法は、床版下面に鋼板を接着し床版の剛性を高めることにより耐荷力を増す工法や床版の曲げスパンを短くする工法であった。しかし、岡田らの研究¹⁰⁾により、床版の損傷は床版上面から進行すること、および荷重が移動することにより生じる正負交番垂直せん断力やねじりせん断力の影響が大きいことがわかってきた。そこで、床版コンクリートの上面を増厚補強する工法が有効な方法であると考えられる(図-1参照)。

増厚補強工法は、コンクリート舗装のかさ上げ工法として古くから欧米諸国で使用されており、わが国においてもセメント系の材料を用いた工法がすでに実施されている⁹⁾。著者らはセメント系の材料にかわるものとして、MMA樹脂の持つ種々の化学的・力学的特性に着目し、その応用研究を行うことにした。

供用中の現道で行う増厚工法として要求される①増厚部と旧コンクリートの一体化、②薄層施工、③急速施工、④旧コンクリート面の活性化処理方法等は、本工法においても十分開発研究が進んでいる。さらにセメント系材料と比べ、施工時の厳しい温度条件に対応できること、硬化時間が早いこと、接着強度が高いこと、静的および疲労強度が高いことなどが本工法の有利な項目として挙げられる。図-2には、樹脂コンクリートによる増厚補強前後の床版断面を、図-3には、施工の流れを示した。上面増厚部は、図-1に示すように圧縮と引張を受ける部分があり、特に主桁直

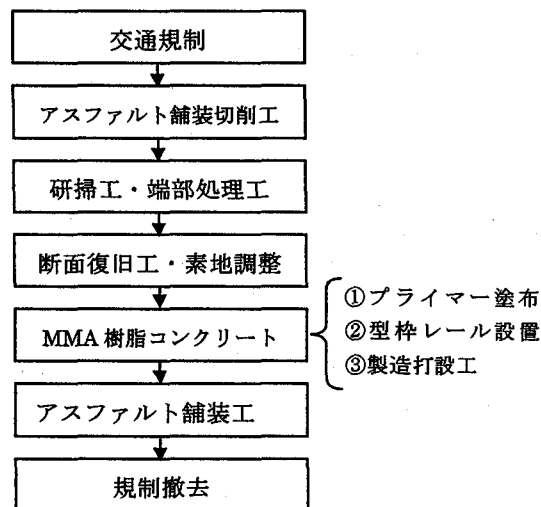


図-3 施工フロー

上の引張側補強部分では、樹脂コンクリートだけによる引張側補強には限界があるため、メッシュ筋による部分補強により増厚部の剛性を高める工夫をしている。以上のことから、本工法は損傷RC床版の補修を効率的に行うための有力な対策工法であると思われる。

3. MMA樹脂コンクリートの設計用値

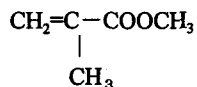
本工法に用いる樹脂コンクリートは、床版防水をも兼ね備える補強材であることが最大の特徴である。今、図-1に示す補強対象を考えた場合、構造形式より圧縮側補強と引張側補強に分かれる。本工法では、分割レーン施工(図-1に示す対象補強域ごとに、橋軸方向に施工する工法)を採用しており、補強対象域に応じて異なる強度特性を持つ樹脂コンクリート仕様としている。この場合、引張側に用いる樹脂コンクリートは既往の研究結果^{11),12)}より、高強度仕様では、粘り強さが低下するため、疲労耐久性に欠け、低強度仕様とすることにより粘り強さ、つまり、じん性効果が高くなることが実物大はり試験体を用いた疲労試験により確認されていることから、低強度仕様としている。以上のことから、樹脂コンクリートを用いた補強設計を行う場合、じん性効果を期待するために低強度仕様の樹脂コンクリートを用いる引張側補強が厳しい設計条件となる。よって、以下に提示する設計用値は、引張側補強に用いる樹脂コンクリートの仕様である。

図-1中に、圧縮側および引張側の補強範囲の参考値を示す。

3.1 一般

メチルメタアクリレート (Methyl Meta Acrylate (MMA))は、熱可塑性樹脂に属する。

MMA モノマーは、次のような化学構造を持っている。



これが過酸化触媒などによって重合し、長鎖状高分子の MMA 樹脂となる。

MMA 樹脂はモノマーを自由に組み合わせて共重合することにより、硬い樹脂から接着剤のような柔らかい樹脂まで、自由に品質設計できる。

3.2 配合

MMA 樹脂コンクリートの標準配合を表-1に示す。基本的に、引張側および圧縮側の骨材割合は同じで、使用 MMA 樹脂のみが異なる。

表-1 MMA 樹脂コンクリートの配合表

材料名	規格	配合率 (wt%)	備考
天然骨材	5~15mm	35.0	川砂利
"	5mm 以下	17.0	"
"	4 号	12.0	珪砂
"	7 号	8.0	"
人工骨材	0.2mm 以下	12.0	硬質粒状スラグ*
微粉骨材	#300	6.0	炭酸カルシウム
バインダー	MMA 樹脂	10.0	常温重合型

3.3 強度

MMA 樹脂コンクリートの力学的性質は温度依存性を有する。このため、温度差の影響は、強度およびじん性に大きな差異が生じる。このことより、MMA 樹脂コンクリートの力学特性を評価するため、基準温度〔常温 (20℃)という〕を設定した。この基準温度は、図-4に示すように実橋床版の関西地区での温度測定結果を基に設定した値である。

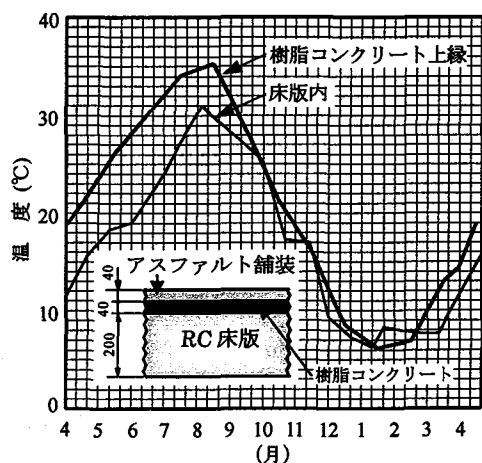


図-4 樹脂コンクリートの1年間の温度変化

1) 圧縮強度

圧縮強度は、材令の経過とともに増加し、打設後4時間程度で実用強度の約80%が発現し、打設後8時間程度で一定値を呈する。また、図-5に示すように温度変化に伴う圧縮強度推移は、ほぼ直線で近似できる。

これより、温度と圧縮強度の関係は、表-2に示すとおりである。

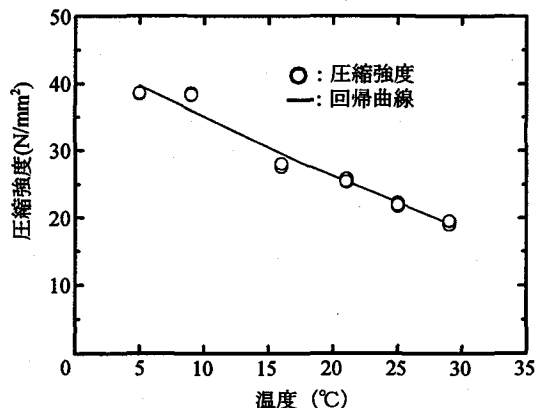


図-5 温度—圧縮強度関係

表-2 温度と圧縮強度の関係

温度	圧縮強度	基準温度比
20℃	25.8	1.00
10℃	35.1	1.36
30℃	18.3	0.71

*単位 (N/mm²)

2) 引張強度

通常コンクリートでは、割裂試験で引張強度のみの評価をしているが、引張強度、ヤング係数、伸び能力を評価するため、図-6に示すような直接引張試験片にて直接引張試験を実施して評価した。

直接引張強度と割裂強度差は、試験温度によりバラツキは多少生じる。基準温度より高い温度では、割裂が、線割裂ではなく、面割裂の傾向があるため評価する場合検討を要する。また、図-7に示すように温度変化に伴う強度推移は、ほぼ直線で近似できる。

引張強度の圧縮強度に対する比は、すべての温度において、約0.2倍程度である。一般にコンクリートの場合、引張強度の圧縮強度に対する比は約1/8(0.125倍)であることから、MMA 樹脂コンクリートの引張強度に対する

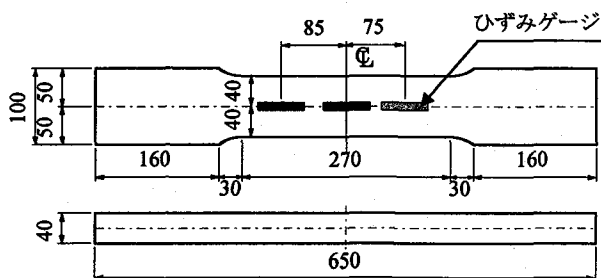


図-6 直接引張試験供試体 (単位 ; mm)

比は、コンクリートのそれに比して非常に卓越している。これより、温度と引張強度の関係は、表-3 に示すとおりである。

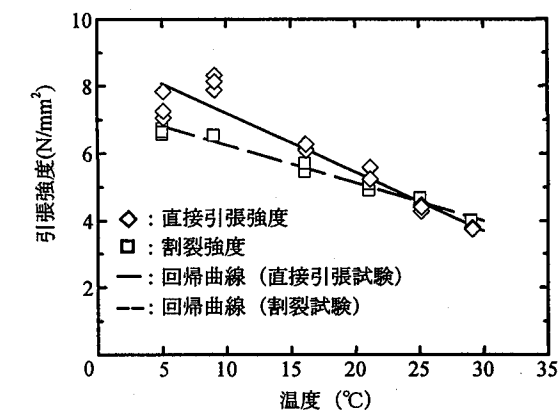


図-7 温度－引張強度関係

表-3 温度と引張強度の関係

温度	引張強度	基準温度比
20℃	5.4	1.00
10℃	7.2	1.33
30℃	3.7	0.69

*単位 (N/mm²)

3.4 ヤング係数

ヤング係数は、打設後 8 時間程度でほぼ一定値を呈する。これは、圧縮強度の場合と同様であるが、打設後約 4 時間では、最終値の約 50% である。また、図-8 に示すように、圧縮と引張のヤング係数は、ほぼ同等である。温度変化に伴うヤング係数の推移は、強度およびポアソン比のそれに比して非常に顕著である。これより、温度とヤング係数の関係は、表-4 に示すとおりである。

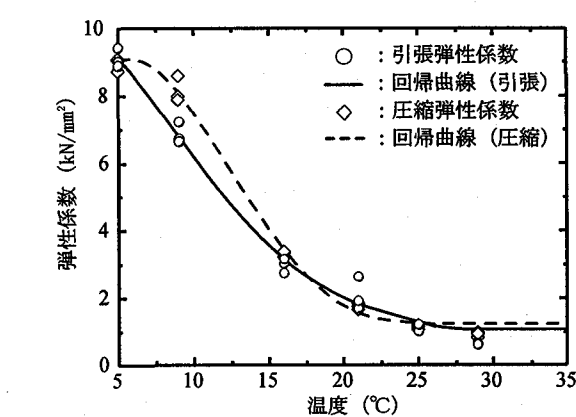


図-8 温度－ヤング係数関係

表-4 温度とヤング係数の関係

温度	ヤング係数	基準温度比
20℃	2.02	1.00
10℃	6.87	3.41
30℃	0.63	0.31

*単位 (kN/mm²)

3.5 ポアソン比

ポアソン比は、打設後約 2 時間で既に約 0.44 まで上昇する。図-9 に示すように、温度上昇に伴う増加量は微小である。また、材令に関わらずほぼ同程度の値で推移する。表-5 には、温度とポアソン比の関係を示した。

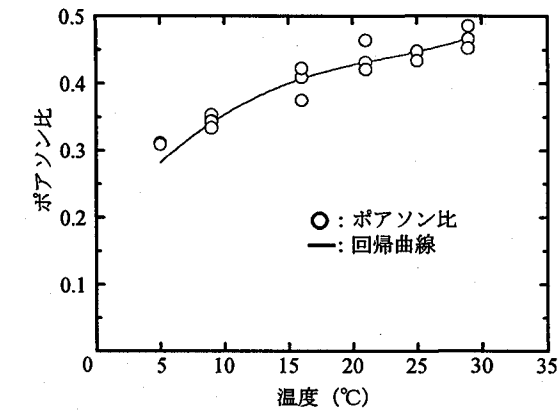


図-9 温度-ポアソン比関係

表-5 温度とポアソン比の関係

温度	ポアソン比	基準温度比
20℃	0.434	1.00
10℃	0.344	0.77
30℃	0.468	1.07

3.6 硬化収縮

1) 硬化収縮

樹脂コンクリートの自由硬化収縮ひずみは、増厚量に関係なく指数関数を用いて精度良く近似できる。

図-10 には、増厚量 $t=6\text{cm}$ の材令と自由収縮ひずみ関係を示した。自由硬化収縮ひずみの最終値は、樹脂コンクリートの増厚量に関係なく約 3000μ の一定値となる。また、無次元係数 k_1 は、樹脂コンクリートの増厚量によって差異がある。なお、図中に示す $\varepsilon_{s,t}$ は時刻 t における硬化収縮ひずみ、 $\varepsilon_{s,\infty}$ は自由収縮ひずみの最終値を、 k_1 は硬化収縮の進行過程を表す無次元係数である。

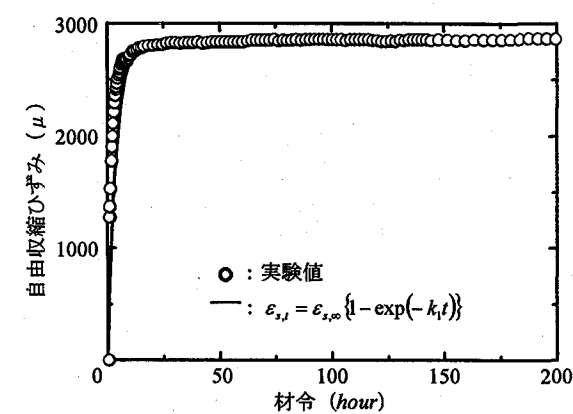


図-10 自由収縮ひずみ-材令関係

2) 終局ひずみ

終局ひずみは、図-11 に示すように、圧縮強度、ヤング係数、およびポアソン比に比して若干のバラツキが見られる。しかし、終局ひずみは、ポアソン比と同様に、材令に関わらずほぼ同程度の値で推移することが分かった。また、一般に圧縮荷重作用下におけるコンクリートの終局ひずみが 3500 μ であることを考えると、低温度下においても樹脂コンクリートのじん性は非常に富んでいる。これより、温度と終局ひずみの関係は、表-6 に示すとおりである。

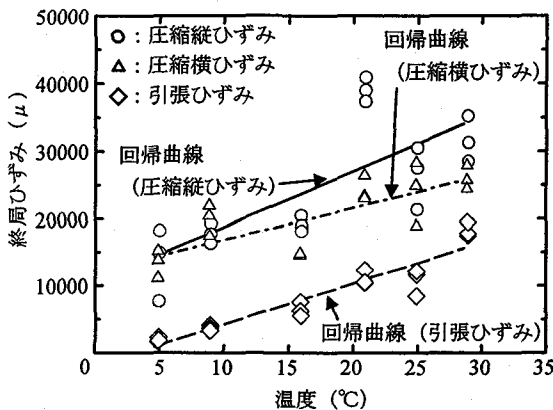


図-11 温度-終局ひずみ関係

表-6 温度と終局ひずみの関係

試験温度	概要	ひずみ	基準温度比
20℃	圧縮縦ひずみ	26700	1
	圧縮横ひずみ	21500	1
10℃	圧縮縦ひずみ	18700	0.70
	圧縮横ひずみ	16700	0.78
30℃	圧縮縦ひずみ	34900	1.31
	圧縮横ひずみ	26200	1.22

*単位 (μ)

3.7 クリープ

樹脂コンクリートの硬化収縮に伴うクリープ係数は、メッシュ筋のみの拘束を受ける場合においては約 1.7、RC 床版に増厚補強した場合約 0.2 である。設計においては、安全側に評価するため、クリープ係数を 0.1 とする。

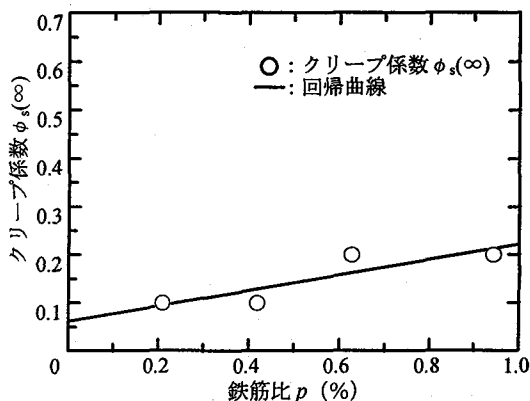


図-12 鉄筋比-クリープ関係 (着目: RC 床版)

図-12 には、RC 床版に増厚されたタイプにおけるメッシュ筋のひずみから算出した鉄筋比 p -クリープ係数 $\phi_s(\infty)$ 関係を示す。

3.8 熱特性

樹脂コンクリートの線膨張係数は、温度変化により異なり、温度上昇に伴い大きくなる。その推移は、図-13 に示すようにほぼ直線で近似できる。これより、温度と線膨張係数の関係は、表-7 に示すとおりである。

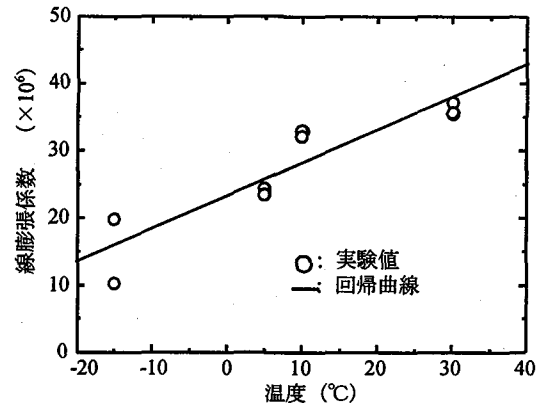


図-13 温度-線膨張係数関係

表-7 温度と線膨張係数の関係

温度	線膨張係数	基準温度比
20℃	32.3	1.00
0℃	23.1	0.71
40℃	42.4	1.31

*単位 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)

4. 解析法

増厚補強 RC 床版の弾性は理論による解析方法および解析モデルを以下に示す。

4.1 圧縮側増厚補強

図-14 に示す解析モデルは、引張側増厚補強における引張側コンクリート無視モデルである。圧縮側増厚補強の解析モデルは、図に示す樹脂コンクリート中からメッシュ筋を除き、主鉄筋位置を上下逆にして行う。以下に応力計算法を示す。

平面保持の仮定とフックの法則から、断面各部の応力算定式は、次式で表される。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{cu} &= -\frac{M}{I_{v1}}(x-t) & \sigma_{s1} &= -n_s \frac{M}{I_{v1}}(x-t-d_1) \\ \sigma_{al} &= -n_a \frac{M}{I_{v1}}(x-t) & \sigma_{s2} &= n_s \frac{M}{I_{v1}}(d_2+t-x) \\ \sigma_{au} &= -n_a \frac{M}{I_{v1}} \cdot x \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

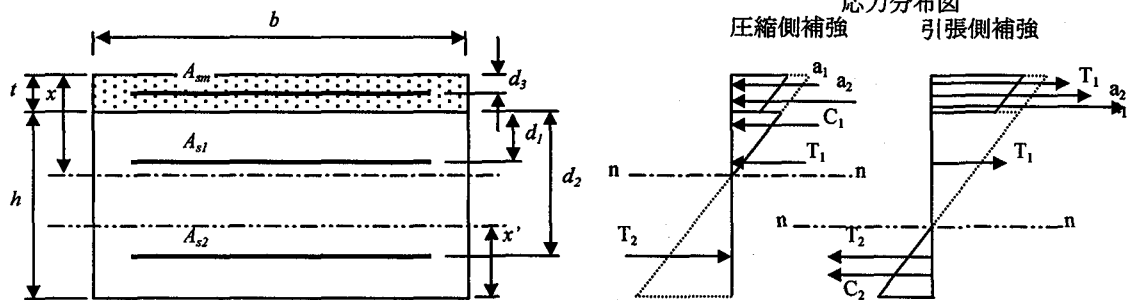


図-14 応力解析モデル

ただし、 $n_a = E_a/E_c$ 、 $n_s = E_s/E_c$

$$x = \frac{1}{2 \cdot \alpha_1} \left(-\beta_1 \pm \sqrt{\beta_1^2 - 4 \cdot \alpha_1 \cdot \gamma_1} \right) \quad (4.2)$$

$$\alpha_1 = b/2$$

$$\beta_1 = n_s (A_{s1} + A_{s2}) + n_a \cdot b \cdot t - t \cdot b$$

$$\gamma_1 = -n_s (d_2 + t) \cdot A_{s2} + n_s (t + d_1) \cdot A_{s1} + \frac{1}{2} \cdot b \cdot t^2 (1 - n_a)$$

$$I_{v1} = n_a \left\{ \frac{b \cdot t^3}{12} + b \cdot t \cdot \left(x - \frac{t}{2} \right)^2 \right\} + \frac{1}{3} \cdot b \cdot (x - t)^3 + n_s \cdot A_{s1} (x - t - d_1)^2 + n_s \cdot A_{s2} (d_2 + t - x)^2 \quad (4.3)$$

ここに、 σ_{cu} : コンクリート上縁の応力

σ_{al} : 樹脂コンクリート下縁の応力

σ_{au} : 樹脂コンクリートの上縁の応力

σ_{s1} : 圧縮主鉄筋の応力

σ_{s2} : 引張主鉄筋の応力

I_{v1} : 換算断面二次モーメント

また、樹脂コンクリートとコンクリートの接着面におけるせん断応力 τ は、次式で計算される。

$$\tau = n_a \frac{S}{I_{v1} \cdot b} \left\{ n_a \cdot b \cdot t \cdot \left(x - \frac{t}{2} \right) \right\} \quad (4.4)$$

ここに、 S : せん断力

4.2 引張側増厚補強 (メッシュ筋を配置)

図-14 に示した解析モデルをもとに以下に引張側増厚補強の応力計算法を示す。

平面保持の仮定とフックの法則から、断面各部の応力算定式は、次式で表される。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{au} &= n_a \frac{M}{I_{v2}} (h + t - x') & \sigma_{s1} &= -n_s \frac{M}{I_{v2}} (x' + d_1 - h) \\ \sigma_{al} &= n_a \frac{M}{I_{v2}} (h - x') & \sigma_{s2} &= n_s \frac{M}{I_{v2}} (h - d_2 - x') \\ \sigma_{cu} &= \frac{M}{I_{v2}} \cdot x' & \sigma_{sm} &= n_{sm} \frac{M}{I_{v2}} (h + t - d_3 - x') \end{aligned} \right\} \quad (4.5)$$

ただし、 $n_{sm} = E_{sm}/E_c$

$$x' = \frac{1}{2 \cdot \alpha_2} \left(-\beta_2 \pm \sqrt{\beta_2^2 - 4 \cdot \alpha_2 \cdot \gamma_2} \right) \quad (4.6)$$

$$\alpha_2 = b/2$$

$$\beta_2 = n_s (A_{s1} + A_{s2}) + n_{sm} \cdot A_{sm} + n_a \cdot b \cdot t$$

$$\gamma_2 = -n_s \{ (h - d_2) \cdot A_{s2} - (d_1 - h) \cdot A_{s1} \} - n_{sm} (h + t - d_3) \cdot A_{sm} - n_a \cdot b \cdot h \cdot t$$

$$I_{v2} = n_a \left\{ \frac{b \cdot t^3}{12} + b \cdot t \cdot \left(h - x' + \frac{t}{2} \right)^2 \right\} \quad (4.7)$$

$$+ n_s \{ A_{s1} (x' + d_1 - h)^2 + A_{s2} (h - d_2 - x')^2 \}$$

$$+ n_{sm} \cdot A_{sm} (h + t - d_3 - x')^2 + \left(\frac{b \cdot x'^3}{12} + b \cdot \frac{x'^3}{4} \right)$$

ここに、 σ_{sm} : メッシュ筋の応力

また、樹脂コンクリート部のひび割れモーメント M_{ar} は、樹脂コンクリートの引張強度を σ_{ar} とすれば、次式で計算される。

$$M_{ar} = \frac{\sigma_{ar} \cdot I_{v2}}{n_a (h + t - x')} \quad (4.8)$$

5. パラメータ解析

4. で示した解析手法を用いて、樹脂コンクリートの増厚量、および床版支間長を変化させたパラメータ解析を行った。

パラメータ解析に用いた各諸元を以下に示す。

1) 床版支間長

$\ell = 0.3\text{m}, 3.5\text{m}, 4.0\text{m}$ の 3 種類

2) 樹脂コンクリートの増厚量

$t = 3.0\text{cm}, 4.0\text{cm}, 5.0\text{cm}$ の 3 種類

3) 樹脂コンクリートのヤング係数

圧縮側補強 $E_{ac} = 15.0 \text{ kN/mm}^2$

引張側補強 $E_{ar} = 2.0 \text{ kN/mm}^2$

4) コンクリートのヤング係数

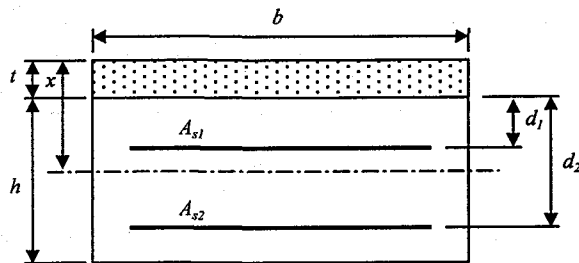
$E_c = 13.3 \text{ kN/mm}^2$ の一定値

5) 鉄筋およびメッシュ筋のヤング係数

$E_s = E_{sm} = 200 \text{ kN/mm}^2$ の一定値

6) RC床版の各諸元

RC床版は、S39年の道路橋示方書で設計された1種類



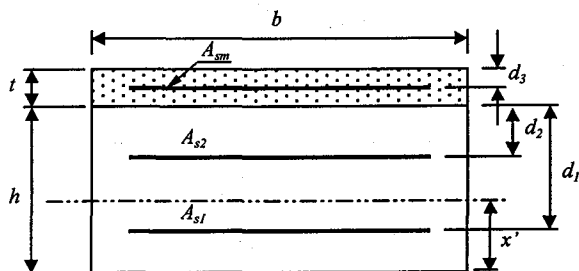
床版支間長 $\ell = 3.0 \text{ m}$ の場合

$b = 100.0 \text{ cm}$ 、 $A_{s1} = 10.23 \text{ cm}^2$ (D19, ℓ° ヲチ 28cm)、

$A_{s2} = 20.46 \text{ cm}^2$ (D19, ℓ° ヲチ 14cm)

$d_1 = 3.0 \text{ cm}$ 、 $d_2 = 14.0 \text{ cm}$ 、 $h = 17.0 \text{ cm}$

図-15 圧縮側補強の床版条件



床版支間長 $\ell = 3.0 \text{ m}$ の場合

$b = 100.0 \text{ cm}$ 、 $A_{s1} = 10.23 \text{ cm}^2$ (D19, ℓ° ヲチ 28cm)、

$A_{s2} = 20.46 \text{ cm}^2$ (D19, ℓ° ヲチ 14cm)、

$A_{sm} = 5.655 \text{ cm}^2$ ($\phi 6, \ell^\circ$ ヲチ 5cm)、 $d_1 = 3.0 \text{ cm}$ 、

$d_2 = 14.0 \text{ cm}$ 、 $d_3 = t/2$ 、 $h = 17.0 \text{ cm}$ 、

図-16 引張側補強の床版条件

7) 床版の設計曲げモーメント

床版の設計曲げモーメントとしては、圧縮側および

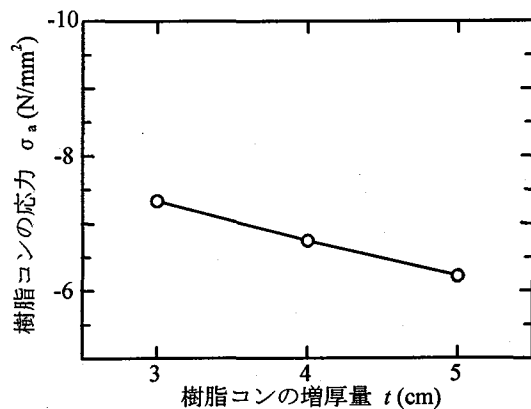


図-17 樹脂コンクリートの応力-増厚量関係 (圧縮)

引張側補強ともB活荷重と後死荷重の組み合わせとする。

5.1 解析結果および考察

RC床版における多くの損傷事例がみられるのは、昭和39年示方書あるいは同種の基準で設計されたものが比較的多くみられることが、これまでの調査・研究で明らかになっている。よって、パラメータ解析の対象床版を昭和39年の示方書で設計されたもの限定して、本工法における補強設計の妥当性について検討を行った。

1) 圧縮側補強の場合

図-17~19は、床版支間長を3.0mに限定し、樹脂コンクリートの増厚量と各部材の発生応力関係を示したものである。コンクリートおよび鉄筋の各発生応力度とそれぞれの許容応力度値とを比較しても、応力的に余裕を持っている。樹脂コンクリートの圧縮強度は、温度の影響を受けるが一般に 30 N/mm^2 以上あることから、安全率を3としても許容応力度は 10 N/mm^2 までとれることになる。したがって、樹脂コンクリートの許容圧縮応力度を 10 N/mm^2 以上とした場合、今回のパラメータ解析の条件内では、樹脂コンクリート応力は十分余裕を持って補強設計が可能となる。

図-20~22には、床版支間長と各部材の発生応力関係を示した。結果より、RC床版にSD30の鉄筋を用いた場合、許容値は 137 N/mm^2 である。図-22に示す鉄筋の応力と床版支間長関係から、樹脂コンクリートの増厚量を5cmに設定しても、補強設計が成立するためには、床版支間長を3.5m以下に制限しなければならない。以上のことから、樹脂コンクリートによる圧縮側補強設計は、鉄筋の応力で決まるといえる。

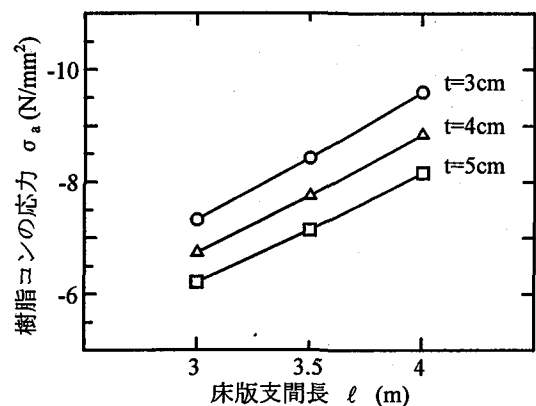


図-20 樹脂コンクリート応力-床版支間長関係 (圧縮)

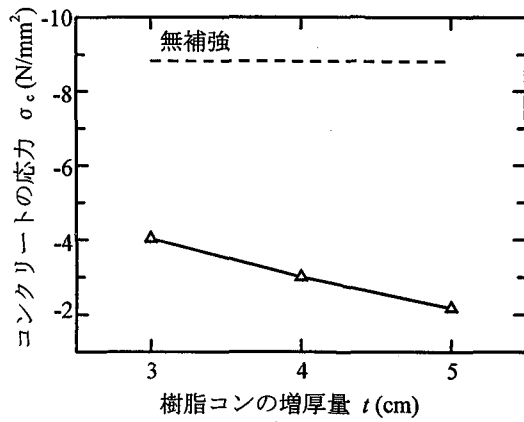


図-18 コンクリート応力-増厚量関係 (圧縮)

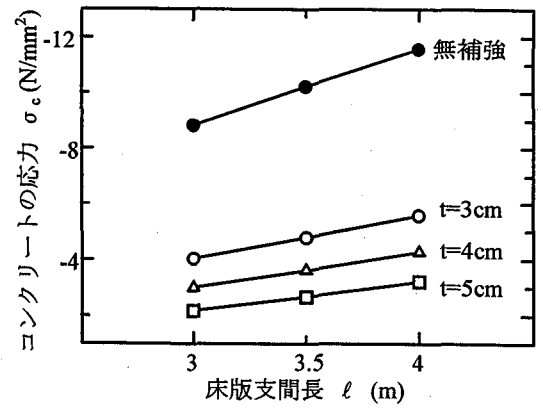


図-21 コンクリートの応力-床版支間長関係 (圧縮)

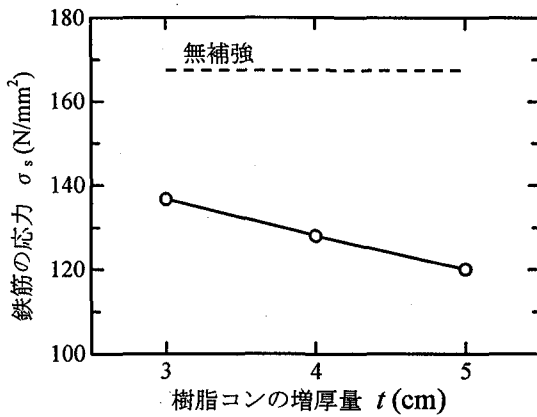


図-19 鉄筋の応力-増厚量関係(圧縮)

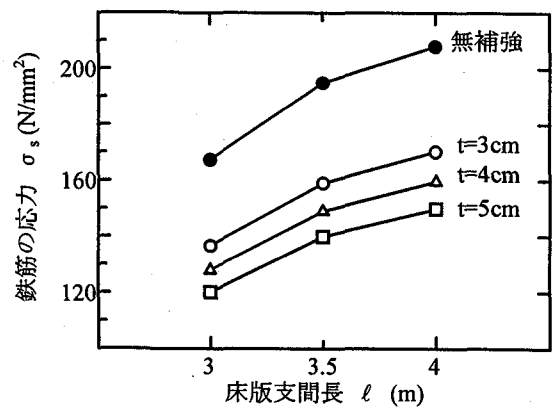


図-22 鉄筋の応力-床版支間長関係(圧縮)

2) 引張側補強の場合

図-23～26 は、床版支間長を 3.0m に限定し、樹脂コンクリートの増厚量と各部材の発生応力関係を示したものである。結果より、樹脂コンクリートの発生応力は、増厚量による影響はほとんどない。これは、引張側補強に用いる樹脂コンクリートは、低強度仕様のため、当然ヤング係数も低い設定となるためである。樹脂コンクリートのヤング係数が高くなると発生応力は、

増厚量に伴い低下傾向は顕著になるが、当然発生応力値は大きくなり樹脂コンクリートの許容引張応力の制約から、引張側の補強設計が実際上、不可能になるケースが大半を占めるといえる。

3.3 で示した樹脂コンクリートの引張強度は 5.0N/mm² 程度であるから、図-23 に示した結果より、安全率を 3 とすると許容応力度は、約 1.7N/mm² となり、このケースでは補強設計が成立する。鉄筋の応力

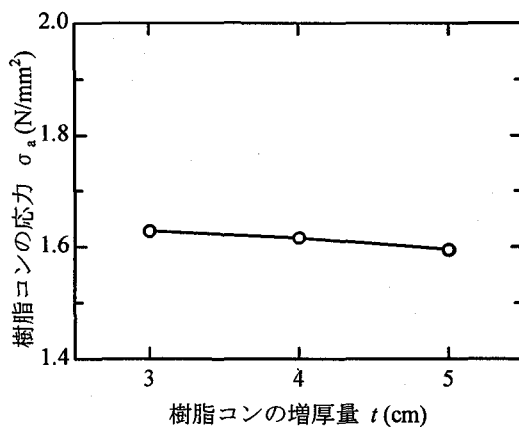


図-23 樹脂コンクリートの応力-増厚量関係 (引張)

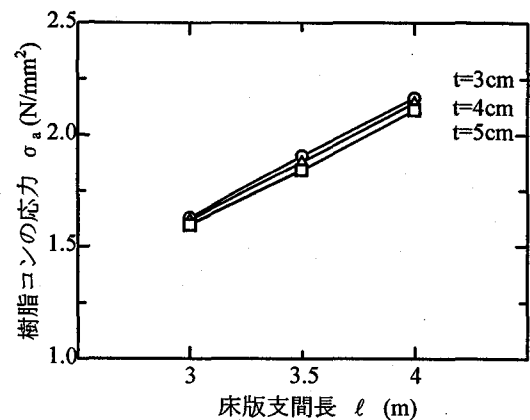


図-27 樹脂コンクリートの応力-床版支間長 (引張)

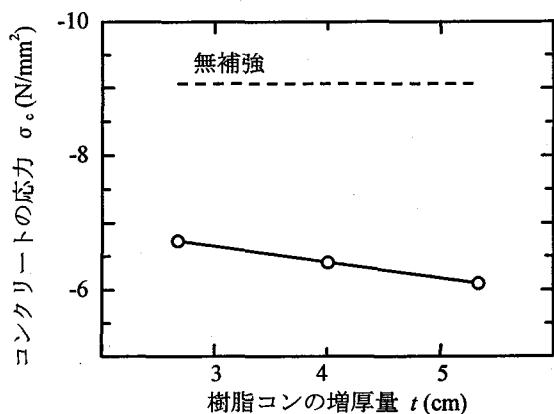


図-24 コンクリートの応力-増厚量関係 (引張)

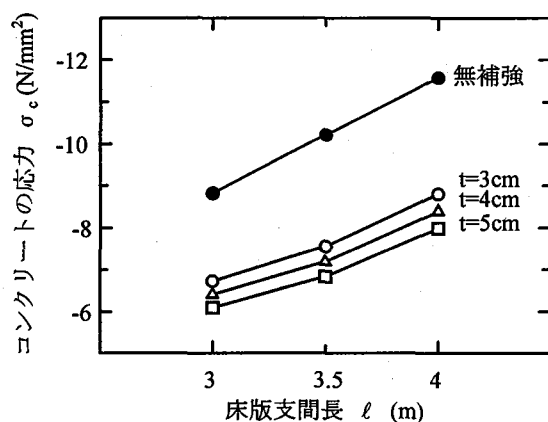


図-28 コンクリートの応力-床版支間長 (引張)

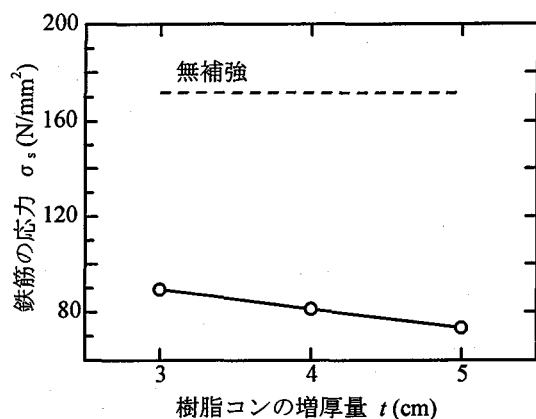


図-25 鉄筋の応力-増厚量関係 (引張)

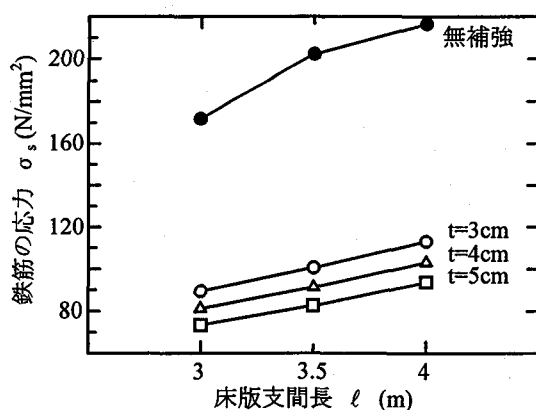


図-29 鉄筋の応力-床版支間長 (引張)

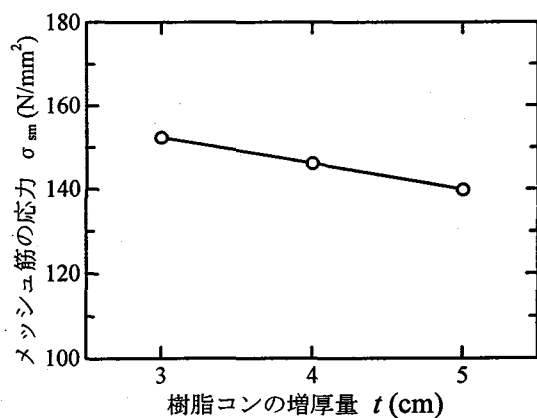


図-26 メッシュ筋の応力-増厚量関係 (引張)

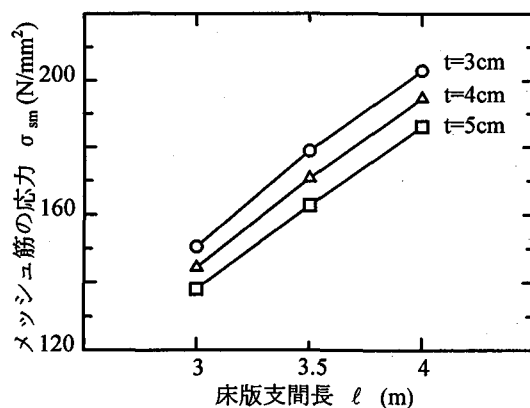


図-30 メッシュ筋の応力-床版支間長 (引張)

やコンクリートの圧縮応力は、引張側補強の場合、増厚により床版の中立軸が引張鉄筋側に移行するため、特に鉄筋の応力は大きく低下する。コンクリートの圧縮応力は高い値を示すが、この程度の圧縮応力は、コンクリートでは一般に許容される値である。

メッシュ筋の応力は、図-26 に示すように 147N/mm² 前後となる。鉄筋の許容引張応力である 137N/mm² は主としてコンクリートのひび割れ幅の制限を目的に設けられたものである。したがって、ひび割れの生じない条件

下にあるメッシュ筋の許容引張応力は、鉄筋の許容圧縮応力と同じ 176N/mm² と考えてもよいと思われるので、このケースでは床版の補強設計が可能となる。

図-27～30 には、床版支間長と各部材の発生応力関係を示したものである。結果より、床版支間長の増加に伴い当然設計曲げモーメントが増大するため、設計条件は厳しくなる。鉄筋の応力およびコンクリートの応力については、先に述べた理由により、問題はない。

樹脂コンクリートの応力は、増厚量に関係なくほとん

ど一定で、増厚効果は少ないと言える。床版支間長が 4.0m となると発生応力も 2.2N/mm^2 程度となり、安全率は、2 程度になる。一方、メッシュ筋は、床版支間長 4m で増厚量 5cm に設定しても、発生応力が 176N/mm^2 以上となり、補強設計が成立するためには、床版支間長を 3.5m 以下に制限するかメッシュ筋径を太くして鉄筋量を増やす工夫をすればよいと思われる。以上のことから、樹脂コンクリートによる引張側補強設計は、樹脂コンクリートの引張強度が支配的となる。

6. 設計用値の提案

樹脂コンクリートに関する著者らの種々の実験結果ならびに試設計の結果、損傷を受けた RC 床版の増厚補強に用いられる樹脂コンクリートの標準温度地域における設計用値を以下に提案する。

6.1 基本設計条件

樹脂コンクリートは、力学特性の温度依存性が顕著な材料である。よって温度変化に伴う各設計用値の上・下限値のバラツキは大きく、設計する場合、この温度特性をどの様に反映するかが問題となる。構造上、図-2 に示すように樹脂コンクリートは、RC 床版とアスファルト舗装間に位置する。そこで、図-4 に示した樹脂コンクリート上面における一年間の温度観測を実施して、そのデータをもとに、基準温度（常温 20°C ）を設定した。次に提案する各基本設計値は、基準温度における値である。

1) 強度

圧縮側補強と引張側補強に用いる樹脂コンクリートの強度仕様は異なる。

圧縮側補強； $\sigma_{rc} = 54.0\text{ N/mm}^2$ （圧縮破壊強度）

引張側補強； $\sigma_{rt} = 25.0\text{ N/mm}^2$ （圧縮破壊強度）

2) ヤング係数

圧縮側補強； $E_{ac} = 14.7\text{ kN/mm}^2$

引張側補強； $E_{at} = 2.0\text{ kN/mm}^2$

3) ポアソン比

圧縮側補強； $\nu_c = 0.20$

引張側補強； $\nu_t = 0.43$

4) クリープ係数

$$\phi_s(\infty) = 0.1$$

5) 収縮量

自由硬化収縮ひずみ； $\varepsilon_{s,\infty} = 3000 \times 10^{-6}$

6.2 増厚量の決定

樹脂コンクリートの増厚量(t)の決定は、構造的ならびに強度的見地から検討した結果、次のように決定する。

アスファルト舗装厚の 1/2 程度とし、最小厚を 3cm とする。すなわち、

1) RC 床版には通常 60~80mm 厚のアスファルト舗装が

なされており、その厚さの半分程度を樹脂コンクリートで代替するという構造上の理由、

2) 樹脂コンクリートのヤング係数と増厚量を種々変化したパラメータ解析の結果、樹脂コンクリートの補強効果と経済性。

の二つの面から、増厚量が決定される。

以下にその目安を提示する。

・床版支間長 $l \leq 3.0\text{m}$ 増厚量 $t = 3\text{cm}$ もしくは 4cm

・床版支間長 $l \leq 4.0\text{m}$ 増厚量 $t = 5\text{cm}$ もしくは 6cm

また、引張側補強には、樹脂コンクリート内部にメッシュ筋を入れて補強する。

以下にその目安を提示する。

・床版支間長 $l \leq 3.0\text{m}$ メッシュ筋径 $\phi 4$

・床版支間長 $l \leq 4.0\text{m}$ メッシュ筋径 $\phi 6$

7. 結論

本研究では、MMA 樹脂コンクリートを用いた上面増厚補強工法の補強効果について、樹脂コンクリートの設計用値を提示し、パラメータ解析により補強設計の有効性について評価した。本研究から明らかになった事項は以下のとおりである。

(1) 樹脂コンクリートは、力学特性の温度依存が大きな材料である。そこで、 20°C を基準温度に設定し、基本設計用値を提案した。尚、この設計用値は、標準温度地域における値である。

(2) 圧縮側補強に用いる樹脂コンクリートは、強度重視仕様のため、床版支間長が 3.0m 程度であれば、樹脂コンクリートの増厚量が 4cm 程度で十分余裕を持って補強設計が成立する。しかし、床版支間長が 4.0m になると、鉄筋の応力が許容応力値以上となるため、使用制限が必要となる。このことから、樹脂コンクリートによる圧縮側補強設計は、鉄筋の応力で決まるといえる。

(3) 引張側補強に用いる樹脂コンクリートは、低強度仕様のため、補強設計は、樹脂コンクリートの引張強度が支配的となる。また、増厚量に関係なくほぼ一定で、増厚効果は少ないと言える。床版支間長 3.5m 程度であれば、樹脂コンクリートの強度安全率を 3 にとると、床版支間長を 3m 程度までとする使用制限が必要となる。

(4) 樹脂コンクリートは、硬化に伴い大きな収縮ひずみが発生する。特に引張側補強では、内部にメッシュ筋を配置している関係上、メッシュ筋の拘束を受ける。しかし、既往の研究結果¹⁷⁾より、メッシュ筋の拘束よりも RC 床版の拘束の方が大きいと、収縮応力に対するメッシュ筋の影響がほとんど無視できることが確認できている。また、クリープ係数を 0.1 と仮定することにより安全側に評価できることが確認されており、増厚部に発生する収縮応力は、約 0.74N/mm^2 となる。これは、引張側補強に用いる樹脂コンクリートの

引張強度の15%に相当するため、引張側の補強設計には考慮する必要がある。

- (5)本工法の補強設計を行う場合、現時点では、引張側補強に用いる樹脂コンクリートが、強度制限や収縮による初期引張応力等により、設計上厳しい条件となる。よって、補強設計は引張側補強が支配的となる。

以上の点から、MMA 樹脂コンクリートを用いた上面増厚補強工法は、RC 床版支間長の適用制限が必要であるが、十分補強設計が成立する工法であり、床版防水を兼ね備えた補修工法として有力な対策工法であると思われる。

参考文献

- 1)栗田章光：アクリル樹脂コンクリートと補強筋による床版増厚補強工法の開発研究、大阪工大摂南大学・八幡工学実験場・構造実験センター報告書、1992.3.
- 2)堤下隆司・栗田章光・桜井忠雄・小西偉夫：アクリル樹脂コンクリートによる損傷 RC 床版の増厚補強設計について(続)、土木学会第 47 回年次学術講演会、1992.9.
- 3)堤下隆司・栗田章光・徳岡文明・小西偉夫：アクリル樹脂コンクリートによる道路橋 RC 床版の増厚補強工法、コンクリート構造物の補修工法に関するシンポジウム、日本コンクリート工学協会、1992.10.
- 4)堤下隆司・栗田章光・徳岡文明・小西偉夫：RC 床版に接着したメタクリル樹脂コンクリートの硬化収縮に関する研究、コンクリート工学年次学術講演会、1994.6.
- 5)澤田友治・栗田章光・堤下隆司・徳岡文明：RC 床版の上面増厚補強に用いられるメタクリル樹脂コンクリートの硬化収縮に関する研究、土木学会第 53 回年次学術講演会、1998.10.
- 6)堤下隆司・栗田章光・澤田友治・徳岡文明：道路橋 RC 上面増厚補強に用いられるメタクリル樹脂コンクリート床版の上面増厚補強に用いられるメタクリル樹脂コンクリートの疲労寿命の評価、土木学会第 53 回年次学術

講演会、1998.10.

- 7)松井繁之・園田恵一郎・瀬戸口嘉明・上林厚志：床版防水工に関する研究(その 3)、土木学会第 45 回年次学術講演会、1990.9.
- 8)トーマンコンストラクション株式会社：ロードガード AQ、1995.7.
- 9)日本道路協会：鋼道路橋設計製作示方書解説、1964.6
- 10)岡田清・岡村宏一・園田恵一郎・島田功：道路橋鉄筋コンクリート床版のひび割れ損傷と疲労性状、土木学会論文報告集、No.321、pp.49～61、1982.5.
- 11)西田徹・大橋健二：超速硬系セメントを用いた鋼繊維補強コンクリートによる床版増厚工法の試験施工、コンクリート工学、Vol. 28、No.8、pp.63～74、1990.8.
- 12)澤田友治：損傷 RC 床版の上面増厚補強に用いられる MMA 樹脂コンクリートの硬化収縮に関する研究、大阪工業大学修士論文、1999.2.
- 13)小柳洽：レジンコンクリートの現状(とくに構造利用について)、コンクリート工学、Vol. 31、No.4、1993.4.
- 14)(社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説・Ⅱ・鋼橋編、1996.12.
- 15)(財)阪神高速道路管理技術センター：耐久性向上に関する検討部会活動概要、1997.3.
- 16)堤下隆司・澤田友治・徳岡文明・栗田章光：道路橋 RC 床版の上面増厚補強に用いられる MMA 樹脂コンクリートの疲労寿命に関する研究、第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集、pp.299～304、1998.11.
- 17)澤田友治・堤下隆司・栗田章光・徳岡文明：RC 床版の上面増厚補強に用いられる MMA 樹脂コンクリートの硬化収縮応力とクリープ係数の評価、構造工学論文集、Vol. 45A、pp.1165～1174、1999.3.

(1999 年 9 月 17 日受付)