

# スラブ補強工法の開発

## Development of Slab Strengthening Methods

櫻井 臣 央<sup>※1</sup>

土屋 芳 弘<sup>※2</sup>

Tamio Sakurai

Yoshihiro Tsuchiya

### 【要旨】

振動障害のスラブやリニューアル等で荷重増になるスラブを補強する際に、既往の補強工法では施工性が悪い、使いながらの補強が難しいといった問題があった。そこで、補強部材がコンパクトで施工性に優れた「トラス筋接着床補強工法」と「PC 鋼棒緊張床補強工法」の2工法を開発を行った。

2工法とも開発に際しては構造実験を行い、補強効果の確認と補強したスラブの振動性状や破壊性状等の把握を行ったので、ここにその概要を報告する。

【キーワード】 スラブ補強, トラス筋, PC 鋼棒, 構造実験, 振動計測

### 1. はじめに

既存スラブのたわみ解消, 剛性向上のためのスラブ補強工法として, 従来, 床下面への鋼板設置やH形鋼による小梁補強が一般的に行われている。しかし, これらの補強工法は, 補強部材が重い, 配管等の撤去・復旧作業を伴うといった施工上の問題等があった。そこで, これら既往の工法に代わる合理的で施工性の良いスラブの補強工法として「トラス筋接着床補強工法」および「PC鋼棒緊張床補強工法」の2工法を開発した。

本報では, 補強効果を含めた設計に必要な各種構造性状を把握するために行った構造実験について報告する。

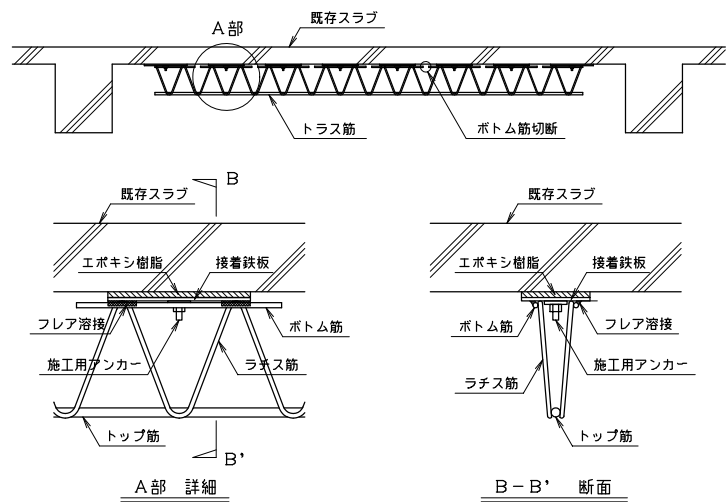


図-1 工法概念図 (トラス筋接着床補強工法)

### 2. トラス筋接着床補強工法の開発

トラス筋接着床補強工法では, 鋼板を床面下端のコンクリートにエポキシ樹脂で接着させるという特殊な方法で, 補強部材と既存スラブの応力伝達を行っている。その応力伝達機構を含め, 補強工法の構造的性状の把握を目的として単純支持架構による載荷実験を行ったので, 以下にその概要について示す。

#### 2.1 工法概要

工法概念図を図-1に示す。補強部材はハーフPCa板に使用されるトラス筋と接着鉄板からなり, 両部材はフレア溶接により接合されている。

本工法は, その補強部材をエポキシ樹脂にてスラブの下面に貼り付けることにより既存スラブと一体化させ, スラブの剛性および耐力を増加させる工法である。アンカーはあくまでも施工用で構造的には期待しておらず, トラス筋のボトム筋についてはスラブ下面の不陸等に追従できるように切断している。

#### 2.2 試験体

試験体一覧を表-1に, コンクリートの材料試験結果を表-2に, 鉄筋の材料試験結果を表-3に, 代表的なTR-20-Lの試験体形状を図-2に示す。

表-1 試験体一覧

試験体名称	トラス高さ (mm)	端部鉄板の大きさ (mm×mm)	補強施工
無補強	—	—	—
TR-15-L	150	180×300	下向き
TR-20-S	200	120×250	
TR-20-L		180×300	
TR-20-T			
TR-25-L	250	180×300	上向き 下向き

- ・端部鉄板以外は各試験体とも同じ鉄板サイズを使用
- ・端部鉄板を含め鉄板厚さは全て6mmを使用

表-2 コンクリートの材料試験結果

圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	割裂強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度(建研式) (N/mm <sup>2</sup> )	動弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )
16.9	2.57×10 <sup>4</sup>	1.88	2.47	3.00×10 <sup>4</sup>

表-3 鉄筋の材料試験結果

部位：鉄筋径 (材種)	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )
トップ筋：D13 (SD295A)	303	498	1.70×10 <sup>5</sup>
ラチス筋：8φ (SWM-B)	465	512	2.01×10 <sup>5</sup>
スラブ筋：D10 (SD295A)	389	549	1.67×10 <sup>5</sup>

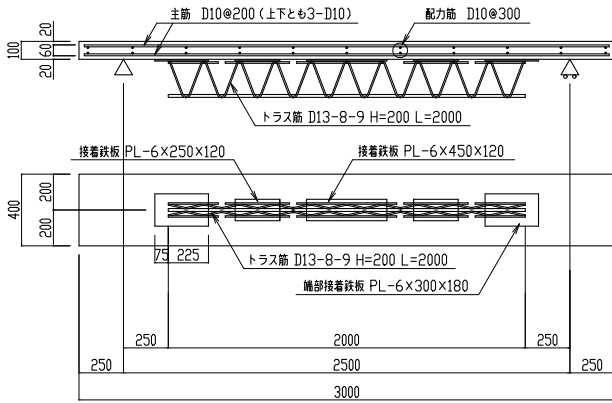


図-2 試験体形状 (TR-20-L)

試験体は鉄筋トラス高さと端部接着鉄板の面積をパラメータとした4体の試験体に、比較のための無補強試験体を1体と、実施工と同じように上向きで施工した1体を加えた計6体とした。上向きで施工した試験体には、実施工と同じように施工用アンカー（構造的な強度を期待しない）を用い、他の試験体はアンカーを用いずに下向きで補強施工を行った。また、コンクリート強度は既存建物の補強を考慮して低強度に設定した。なお、エポキシ樹脂の材料試験結果は規格値を満足していた。

### 2.3 加力方法および測定方法

加力装置を図-3に示す。加力は支点間中央への1点集中線荷重とし、支点はピン・ローラー支承とした。また、鉛直下向きの一方向載荷とし、加力サイクルは図-4に示すように1/1250 (δ/L : L=2,500mm) を1回繰り返す、あとは破壊もしくは1/25まで単調に荷重を増加させていった。加力状況を写真-1に示す。

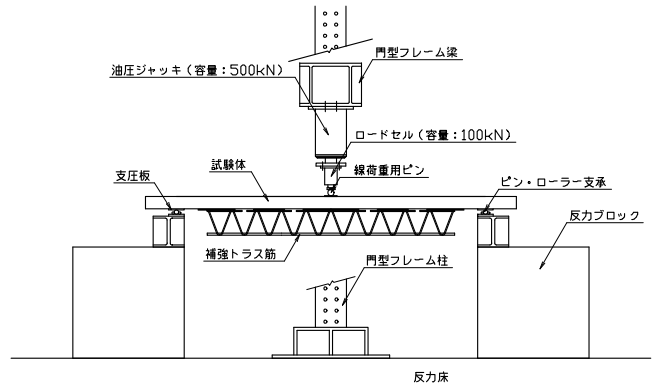


図-3 加力装置

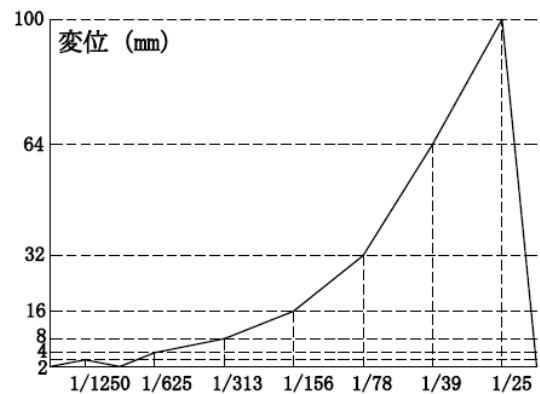


図-4 加力サイクル

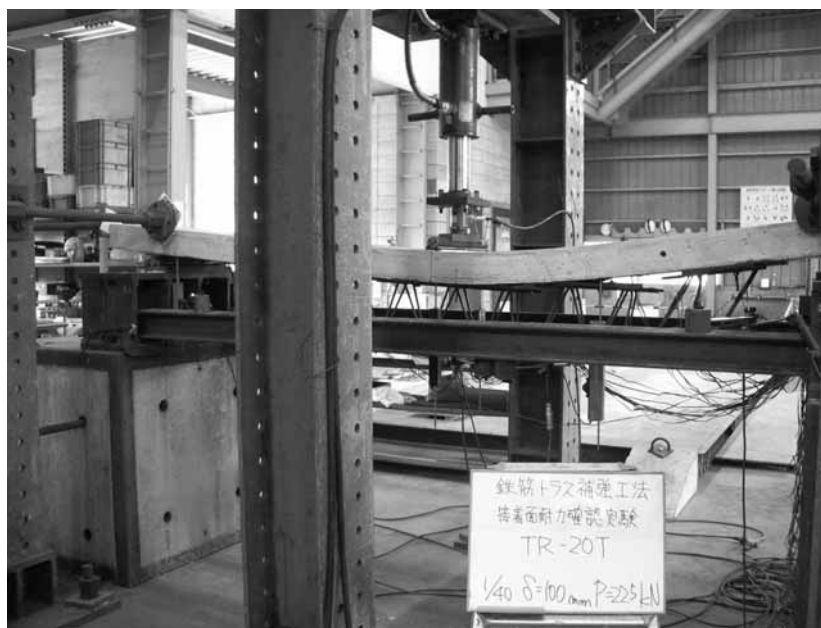


写真-1 加力状況

変位計・ひずみ測定位置を図-5に示す。変形計でスラブの鉛直変位を、ひずみゲージでスラブ筋、トラス筋のトップ筋およびラチス筋のひずみ量を計測した。また、全ての試験体において、加力前に振動計測を行った。振動計測状況を写真-2に示す。

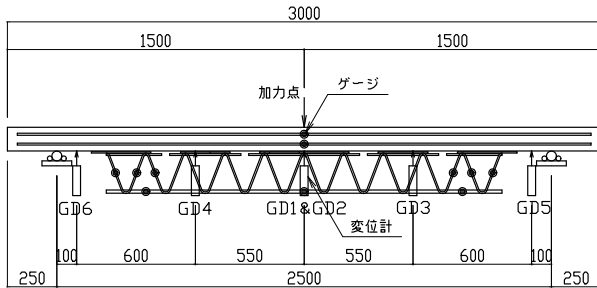


図-5 変位・ひずみ測定位置



写真-2 振動計測状況

## 2.4 実験結果

各試験体の1次振動数計測結果を表-4に示す。いずれの補強試験体も無補強試験体に比べて、1次振動数が大きくなっており、振動性状の改善に効果があることが確認できた。また、上向きで補強施工を行ったTR-20-Tでも他の試験体と同程度の振動測定値となり、本補強工法は既存スラブと補強部材がエポキシ樹脂により一体化し、振動のような微小変形に対しても効果があることが確認できた。

表-4 1次振動数計測結果

試験体名称	トラス高さ (mm)	補強施工	補強前 (Hz)	補強後 (Hz)	補強後/補強前
無補強	—	—	22.7	—	—
TR-15-L	150	下向き	23.2	29.6	1.28
TR-20-S	200		23.2	29.9	1.29
TR-20-L			23.5	30.4	1.29
TR-20-T			24.1	29.9	1.24
TR-25-L	250	下向き	23.0	29.0	1.26

各試験体の最大荷重と破壊モードを表-5に、各試験体の荷重-変形曲線を図-6に示す。トップ筋およびスラブ筋の降伏は材料試験結果より算出した降伏ひずみを越えた時点とした。いずれの補強試験体も無補強試験体に比べて、剛性、耐力共に増加しており、既存スラブに対する補強効果があることが確認できた。なお、補強試験体では、スラブ筋の降伏は認められなかった。

上向き施工を行ったTR-20-Tは、同じ条件で下向き施工したTR-20-Lとほぼ同様の荷重-変形曲線(剛性・耐力)、破壊経過を示した。ただし、TR-20-Tにおいて、曲げひび割れはかなり早期に発生したが、これは補強部材がスラブ自重を負担していないためと考えられる。

表-5 最大荷重と破壊モード

試験体名称	最大荷重		破壊モード
	P荷重(kN)	変位(mm)	
無補強	10.8	70.2	スラブ下端筋降伏
TR-15-L	34.4	78.1	トップ筋降伏後接着面剥離
TR-20-S	19.7	6.5	接着面剥離
TR-20-L	36.5	44.0	トップ筋降伏後ラチス筋座屈
TR-20-T	35.8	42.1	トップ筋降伏後ラチス筋座屈
TR-25-L	30.6	23.1	トップ筋降伏後ラチス筋座屈

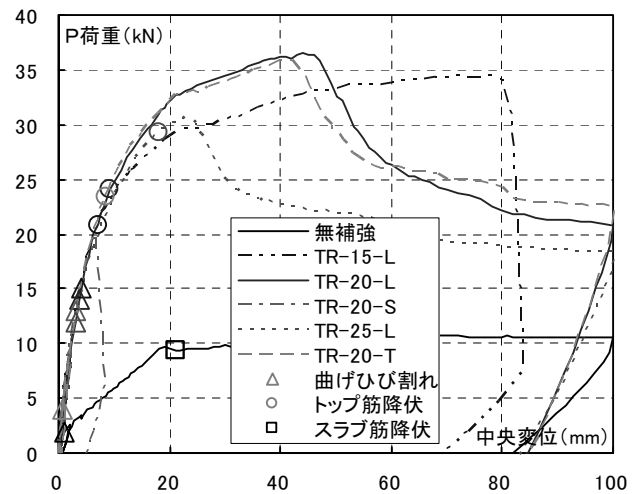


図-6 各試験体の荷重-変形曲線

## 2.5 実験結果と計算値の比較

### (1) 剛性

1次振動数の実験値と計算値の比較を表-6に、静的载荷による断面二次モーメント(初期剛性)の実験値と計算値の比較を表-7に示す。動的および静的のいずれの比較によっても実験値ではトラス高さの違いによる剛性の違いは現れておらず、トラス高さが大きくなるほど、実験値は計算値を大きく下回るという結果となった。剛性が計算値を下回る理由としてはラチス筋端部がR状に曲がっている影響が考えられる。

【1次振動数の計算式】

$$f = \pi(2 \times L^2) \times \sqrt{E \cdot I / (w \cdot g)}$$

L : スパン  
I : 断面二次モーメント  
E : 動弾性係数  
g : 重力加速度  
w : 単位長さあたりの荷重

表-6 1次振動数の実験値と計算値の比較

試験体名称	トラス高さ (mm)	施工	実験値 (Hz)	計算値 (Hz)	実験値/計算値
無補強	—	—	22.0	26.6	0.83
TR-15-L	150	下向き	29.6	35.9	0.82
TR-20-S	200		29.9	40.7	0.73
TR-20-L			30.4	40.5	0.75
TR-20-T			29.9		0.74
TR-25-L	250	下向き	29.0	45.4	0.64

表-7 静的載荷による断面二次モーメントの比較

試験体名称	実験値 (mm <sup>4</sup> )	計算値 (mm <sup>4</sup> )	実験値/計算値
無補強	2.42×10 <sup>7</sup>	3.43×10 <sup>7</sup>	0.71
TR-15-L	6.53×10 <sup>7</sup>	6.81×10 <sup>7</sup>	0.96
TR-20-S	7.35×10 <sup>7</sup>	8.68×10 <sup>7</sup>	0.85
TR-20-L	6.77×10 <sup>7</sup>		0.78
TR-20-T	6.97×10 <sup>7</sup>		0.80
TR-25-L	6.67×10 <sup>7</sup>	10.95×10 <sup>7</sup>	0.61

(2) トップ筋降伏時耐力

トップ筋降伏時耐力の実験値と計算値の比較を表-8に示す。この計算式には下記に示すように梁の終局耐力式を準用した。いずれの試験体においても計算値は実験値を大きく上回った。なお、無補強の試験体の値はスラブ下端筋降伏時耐力を示す。

【トップ筋降伏時耐力の計算式】

$$M_a = 0.9 \times a_t \times f_t \times d$$

a<sub>t</sub> : トップ筋断面積  
f<sub>t</sub> : トップ筋降伏強度  
d : 曲げ材の有効せい  
[ = (スラブ厚 + トラス高さ) ]

表-8 トップ筋降伏時耐力の実験値と計算値の比較

試験体名称	実験値 (kN・mm)	計算値 (kN・mm)	実験値/計算値
無補強	5.88×10 <sup>3</sup>	5.22×10 <sup>3</sup>	1.13
TR-15-L	13.0×10 <sup>3</sup>	9.00×10 <sup>3</sup>	1.44
TR-20-S	—	10.7×10 <sup>3</sup>	—
TR-20-L	15.0×10 <sup>3</sup>		1.40
TR-20-T	14.6×10 <sup>3</sup>		1.36
TR-25-L	18.3×10 <sup>3</sup>		1.46

(3) ラチス筋座屈耐力

ラチス筋座屈の状況を写真-3に示す。ラチス筋の座屈は端部より連なるように発生しており、載荷点を中心にラチス筋の座屈が早期に発生した側に変形が集中した。



写真-3 端部ラチス筋の座屈 (TR-25-L)

ラチス筋の座屈応力度の計算値を示したグラフに実験値をプロットしたものを図-8に示す。この計算式にはハーフPCa板のトラス筋のラチス筋座屈時のせん断耐力式を準用した。座屈長さの係数を1.0とすることにより、実験値と計算値はよく一致した。

【ラチス筋座屈応力度の計算式】

$$\lambda \leq \Lambda \text{ のとき } \sigma_k = \sigma_y - a \cdot \lambda \quad (a = 0.4\sigma_y / \Lambda)$$

$$\lambda > \Lambda \text{ のとき } \sigma_k = \pi^2 E_s / \lambda^2$$

λ : 細長比 (=k・L<sub>r</sub>/i<sub>r</sub>)

L<sub>r</sub> : ラチス筋の長さ(図-7参照)

K : 座屈長さの係数

i<sub>r</sub> : ラチス筋の断面二次半径

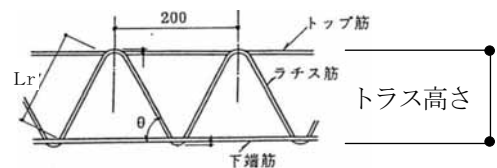


図-7 ラチス筋の長さ (L<sub>r</sub>)

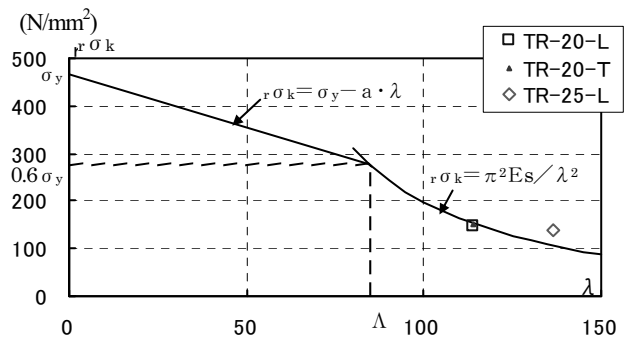


図-8 ラチス筋の座屈応力度 (k=1.0)



#### (4) 接着面剥離に対する検討

接着面剥離破壊は写真-4に示すように端部接着鉄板で発生した。これは端部接着鉄板のみ外端部ラチス筋からの引張力により接着面に引張応力が生じたことが原因と考えられる。このラチス筋引張力がコンクリートとの接着面に及ぼす影響を把握するために FEM 解析を行った。端部接着鉄板の FEM 解析による検証の一例を図-9に示す。検証の結果、鉄板の厚さと接着部のバネ定数（エポキシ樹脂のヤング係数）を今回の実験と同じ条件にすると、接着面に引張応力が作用する範囲はラチス筋からの引張力にかかわらず一定であることが認められた。

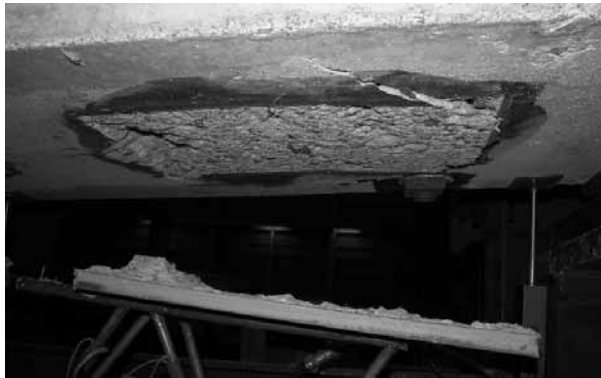


写真-4 端部鉄板の接着面剥離

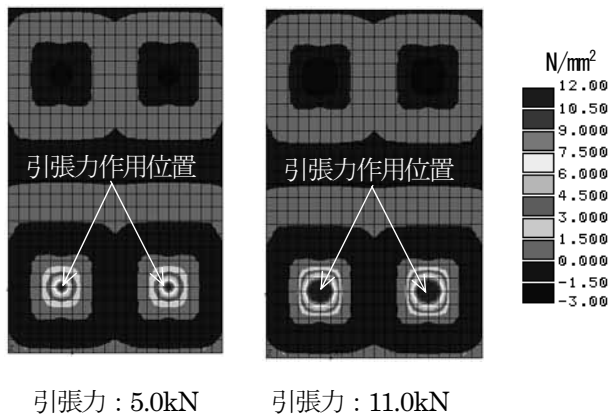


図-9 端部接着鉄板のFEM解析による検証の一例

その結果を基に、端部鉄板には接着面応力が下記のように作用していると仮定し、ラチス筋に貼付したゲージの最大値（剥離または座屈直前）より算定した端部鉄板の接着面応力度を表-9に示す。

##### 【端部鉄板の接着面応力状態】

- せん断応力：接着面全体に作用
- 引張応力：端部ラチス筋を中心に55mm角の範囲に作用（図-9より）

表-9 各試験体の接着面応力度 単位：N/mm<sup>2</sup>

試験体名称	左		右		破壊モード
	引張	せん断	引張	せん断	
TR-15-L	2.17	0.47	2.06	0.46	接着面剥離(左)
TR-20-S	2.35	0.25	2.11	0.23	接着面剥離(右)
TR-20-L	1.97	0.34	2.18	0.35	ラチス筋座屈(左)
TR-20-T	1.93	0.32	2.03	0.34	ラチス筋座屈(右)
TR-25-L	1.62	0.23	1.69	0.23	ラチス筋座屈(左)

※  は剥離した接着面を示す。

同程度の引張応力度が作用していても接着面剥離の有無に差異が生じた。これはコンクリートの引張強度にはバラツキが大きいこと等が影響していると考えられる。

端部鉄板には引張応力度とせん断応力度が同時に作用しているため、組合せを考慮し、下記評価式にて接着面剥離耐力を評価した。その評価結果をプロットしたグラフを図-10に示す。許容引張およびせん断応力度には建築基準法施行令に規定されている材料強度を用いた。この評価方法では、剥離のあった接着面について実験値は計算値を20%以上上回る結果となった。

##### 【接着面剥離耐力の評価式】

$$(T/T_a)^2 + (Q/Q_a)^2 \leq 1.0$$

T：引張応力度

T<sub>a</sub>：許容引張応力度（=σ<sub>B</sub>/10=1.69N/mm<sup>2</sup>）

Q：せん断応力度

Q<sub>a</sub>：許容せん断応力度（=σ<sub>B</sub>/10=1.69N/mm<sup>2</sup>）

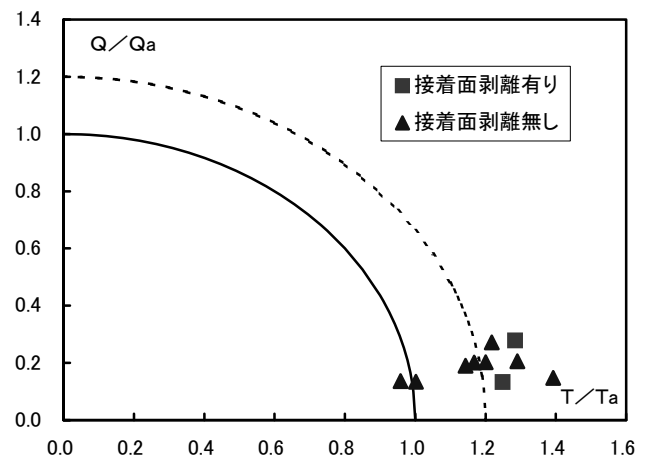


図-10 接着面のT/T<sub>a</sub>とQ/Q<sub>a</sub>の相関関係

#### 2.6 まとめ

- 1) 振動計測および静的載荷試験により、本補強工法は剛性増加に寄与し、振動性能を改善する効果を有することが確認できた。
- 2) 静的載荷試験により、本補強工法は耐力増加に寄与し、既存スラブの耐荷重性能を改善する効果を有することが確認できた。

- 3) 実施工と同じ上向き施工を行った試験体は、下向き施工で行った試験体とほぼ同等の性能を有していることが確認できた。本実験結果を用いて実施工の補強効果を評価できるものと考えられる。
- 4) 振動性能を改善する効果を有することが確認できたが、トラス高さの違いによる補強効果の違いが実験結果に現れておらず、実験値と計算値には差異が生じた。
- 5) トップ筋降伏時耐力については、計算値が実験値を十分安全側に評価できることが確認できた。
- 6) ラチス筋座屈耐力については、計算値が実験値をほぼ適切に評価できることが確認できた。
- 7) 接着面剥離耐力については、許容応力度に建築基準法施行令に規定された材料強度を用いた引張とせん断の組合せ応力の評価に対して、計算値は実験値よりも十分安全側であることが確認できた。

### 3. PC 鋼棒緊張床補強工法の開発

PC 鋼棒緊張床補強工法は、在来工法を組合せた補強工法なので、たわみや振動の改善などの程度の効果があるのかの確認を中心に実験を行った。その補強効果の確認を目的とした一方向版による各種実験について以下に示す。

#### 3.1 工法概要

図-11に工法概念図を示す。補強部材は、鋼製束、端部金物およびPC鋼棒からなり、各部材はボルト接合により接続されている。本工法は、下弦材または斜材のいずれかのPC鋼棒に小型油圧ジャッキまたは人力にて張力を与えることで、鋼製束に圧縮力(押し上げ力)を導入し、スラブを持ち上げる機構となっている。これによりたわみが改善されるだけでなく、スラブの状態が変化するため振動性能を改善する効果も有している。

補強形態として、図-11には端部金物を鉄筋コンクリート(RC)梁に樹脂アンカーで固定した例を示したが、PC鋼棒に大きな張力を導入する場合にはRC梁を貫通して端部金物を固定する方法、また鉄骨梁に適用することも可能である。さらに、施工誤差等による斜材の角度の変化に対しては、ボルト接合部に球面ナットと球面座金を用いることにより対応が可能である。

#### 3.2 試験体

図-12に試験体形状を、表-10に試験体諸元を示す。また、表-11にコンクリートの材料試験結果を示す。試験体は、長期クリープ試験を継続中の球状中空部を有するボイドスラブ試験体である。なお、コンクリートには軽量コンクリートが用いられている。

コンクリートは2001年8月27日に打設され、材令として約4年が経過している。また、試験体にはコンクリート

ブロックにより $2.5\text{kN/m}^2$ の積載荷重が与えられており、2005年9月時点で $14\sim 15\text{mm}$ のたわみが生じていた。

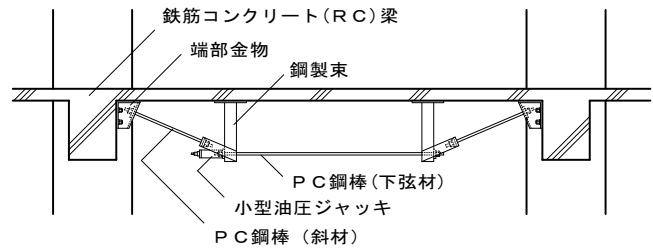


図-11 工法概念図(PC鋼棒緊張床補強工法)

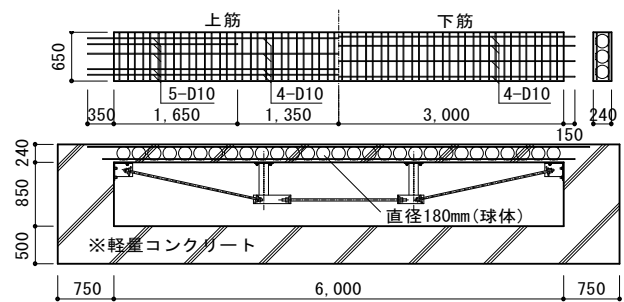


図-12 試験体形状

表-10 試験体諸元

スラブ 厚さ mm	スラブ 幅 mm	内法 スパン mm	ボイド		配筋	
			径 mm	間隔 mm	端部	中央部
240	650	6,000	180	205	上筋:5-D10 下筋:4-D10	上筋:4-D10 下筋:4-D10

表-11 コンクリートの材料試験結果

養生	材令 日	圧縮強度 $\text{N/mm}^2$	弾性係数 $\text{kN/mm}^2$	割裂強度 $\text{N/mm}^2$	比重 $\text{g/cm}^3$
封かん	28	25.6	15.6	2.25	1.88
コア抜き	1,481	32.4	16.1	—	1.79

#### 3.3 機構確認実験

##### (1) 実験概要

本実験は、張力の伝達状況および緊張量とスラブのたわみ量の関係を確認することを目的とした。図-13に実験に用いた鋼製束のタイプを示す。鋼製束は2種類とし、(a)は固定式で斜材を緊張するタイプ、(b)は回転式で下弦材を緊張するタイプである。また、左右の鋼製束の設置位置は、端部からスパンの $1/3$ の位置とし、斜材・下弦材ともに $26\phi$ のPC鋼棒を用いた。さらに斜材の両側には、角度の調整に対応できるように球面ナットおよび球面座金を用いた。また、端部金物は、 $M20\cdot$ 埋込み長さ $120\text{mm}$ の樹脂アンカーを5本用いて固定した。

図-14に変位測定位置を示す。変位の測定は、電気式変位計を用い、ひずみの測定は、鋼製束および各PC鋼棒の両面にひずみゲージを貼付して行った。

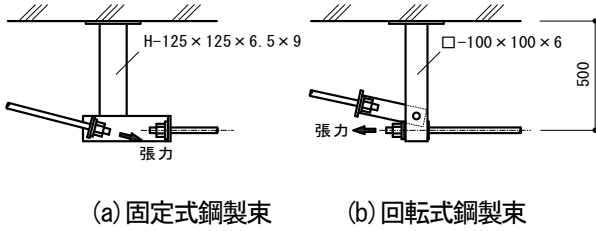


図-1 3 鋼製束タイプ

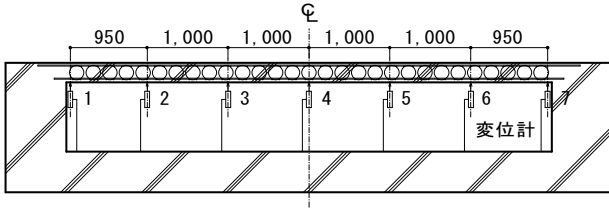


図-1 4 変位測定位置

(2) 実験結果

図-1 5に PC 鋼棒への導入張力とスラブ中央鉛直変位との関係を示す. PC 鋼棒導入張力は (a) 固定式鋼製束 (以下, 鋼製束 (a) と記す.) では斜材, (b) 回転式鋼製束 (以下, 鋼製束 (b) と記す.) では下弦材の歪から求めた. 実験は, スラブ中央の変位制御により行い, 2, 4, 6, 8mm の各時点で計測を行った.

スラブの変形 (むくり量) は導入張力にほぼ比例して大きくなり, 鋼製束 (a) を使用した場合は約 100kN, 鋼製束 (b) を使用した場合は約 70kN の張力を導入した時に 8mm に達した.

図-1 6に最大変位時 (8mm) におけるスラブ全体の鉛直変位の分布を示す. 鋼製束 (a), (b) の場合ともに変位は放物線状に分布しているが, 鋼製束 (a) の場合は張力導入部材側の変位量が大きく, 均等に分布していないのに対して, 鋼製束 (b) の場合は左右対称に変位が分布している.

図-1 7に鋼製束 (a), (b) におけるPC鋼棒導入張力と2本の鋼製束 (北側, 南側) それぞれに作用する軸力の関係を示す. PC鋼棒に導入した張力に対して, 鋼製束 (a) を用いた場合は北側は約1/5, 南側は約1/6程度, 鋼製束 (b) を用いた場合は南北の鋼製束ともに約1/6程度の圧縮力が作用している.

鉛直変位の分布及び導入張力と鋼製束軸力の関係から, スラブのたわみを改善するには, 斜材を緊張するタイプの鋼製束 (a) よりも下弦材を緊張するタイプの鋼製束 (b) の方が効率が良いことがわかる.

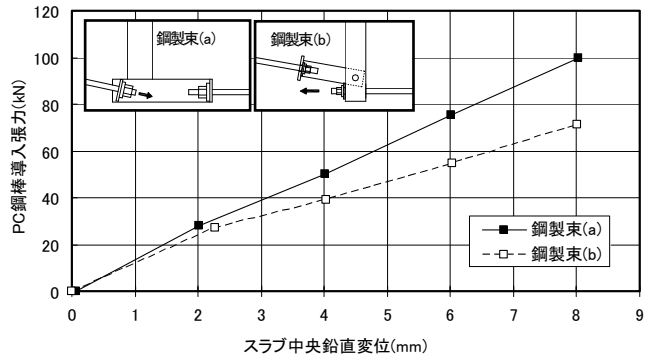


図-1 5 PC 鋼棒導入張力-スラブ中央変位関係

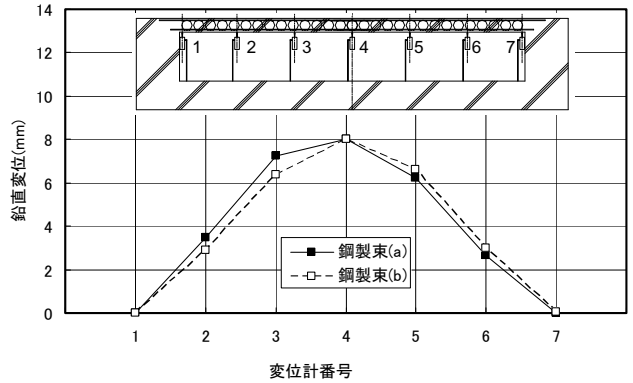


図-1 6 鉛直変位の分布

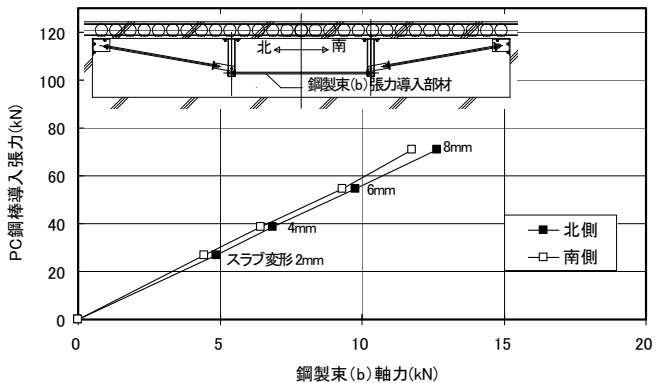
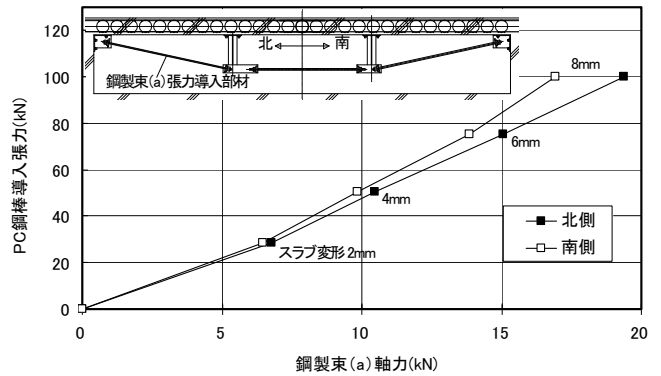


図-1 7 PC 鋼棒張力-鋼製束軸力関係

### 3.4 動的実験

#### (1) 実験概要

本実験は、微動、バングマシンによる衝撃加振および一人歩行時の振動を測定することにより、補強による振動特性の変化の状況を確認することを目的とする。

表-12に試験変数を示す。試験変数は、補強の有無、導入張力量、鋼製束の設置位置、PC鋼棒の径とした。導入張力は10kNごとに70kNまでとし、鋼製束は、端部からスパンの1/3、1/4および1/3と1/4の位置の組合せとした。また、PC鋼棒の剛性の影響を確認するため17φおよび26φを用いた。断面積はそれぞれ227.0mm<sup>2</sup>(17φ)、530.9mm<sup>2</sup>(26φ)である。なお、鋼製束は図-13の(a)の固定式タイプを使用した。

図-18、写真-5に振動計設置位置およびバングマシンによる加振位置を示す。振動計は8ヶ所に設置し、加振位置は中心から600mm離れた位置とした。

表-12 動的実験の試験変数

ケース	PC鋼棒径	鋼製束の端部からの位置	
		左側	右側
1	—	補強部材無	
2	17φ	スパンの1/3	スパンの1/3
3	26φ	1/4	1/4
4	26φ	1/3	1/4
5	26φ	1/3	1/3

※ PC鋼棒への導入張力：0~70kN (@10kN)

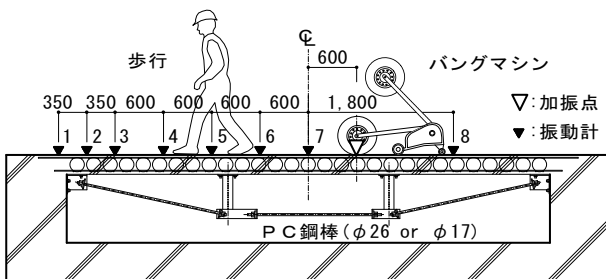


図-18 振動計設置位置および加振位置

#### (2) PC鋼棒導入張力-1次振動数

微動測定時のPC鋼棒の径と設置スパンの異なる4通りの実験における導入張力と1次振動数の関係を図-19に示す。使用した鋼製束は全て(a)固定式鋼製束である。導入張力の増加にほぼ伴って1次振動数が増加していることがわかる。また、PC鋼棒径26φを用いて補強した場合に比較して17φを用いた場合では1次振動数の増加割合が小さい。1次振動数の増加割合を床全体の剛性増加に換算(振動数の増加割合の二乗)すると、26φで43~48%、17φで18%の増加に相当する。これはPC鋼棒に張力を導入すると、試験体に生じているひび割れが閉じることにより起こる現象と考えられる。

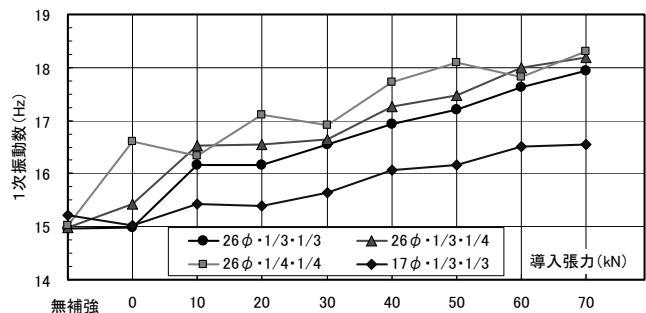


図-19 PC鋼棒導入張力-1次振動数

#### (3) 床応答

表-13に張力70kN導入時の衝撃加振による最大加速度、最大変位、フーリエ振幅とそれぞれの無補強時に対する比率をそれぞれ示す。測定値は3回の試験の平均値とした。補強によって、加速度及びフーリエ振幅は増加し、変位は減少する。4種類の試験の中では、26φ・1/3・1/3の場合が変位低減割合が0.69倍と最も大きく、加速度増加も1.13倍で比較的小さい。17φ・1/3・1/3の場合も変位低減割合0.74、加速度増加割合1.07であり、比較的補強の効率が良い。1/4スパン設置では加速度が最も増加



写真-5 動的実験状況



しているうえに、変位の低減も小さいことから、中央支点距離の広い場合には全体剛性が増えても中央部剛性が増加しにくいという傾向が認められる。

同様に一人歩行の場合を表-14に示す。補強後の歩行振動は変位で61~77%に低減される。また、1/4スパン設置では他に比べて振幅が大きいこと、全体傾向として26φ・1/3・1/3の場合に振幅が小さいことや、鋼棒径の小さい17φ・1/3・1/3も比較的効率が良いという傾向は衝撃加振の場合と同様である。

表-13 衝撃加振による振動振幅

補強部材構成	最大加速度		最大変位		フーリエ振幅	
	gal	比率	μ	比率	gal·sec	比率
補強部材無	575.4	1.00	938.8	1.00	103.8	1.00
17φ・1/3・1/3	616.0	1.07	699.2	0.74	129.8	1.25
26φ・1/4・1/4	702.5	1.22	761.2	0.81	143.7	1.38
26φ・1/3・1/4	653.4	1.14	718.2	0.77	134.6	1.30
26φ・1/3・1/3	647.8	1.13	652.4	0.69	142.4	1.37

表-14 一人歩行による振動振幅

補強部材構成	最大加速度		最大変位		フーリエ振幅	
	gal	比率	μ	比率	gal·sec	比率
補強部材無	140.5	1.00	301.1	1.00	56.6	1.00
17φ・1/3・1/3	128.1	0.91	191.6	0.64	56.0	0.99
26φ・1/4・1/4	148.6	1.06	232.3	0.77	64.5	1.14
26φ・1/3・1/4	117.9	0.84	183.3	0.61	52.0	0.92
26φ・1/3・1/3	101.3	0.72	237.1	0.79	41.3	0.73

図-20に補強の効率が最も良い26φ・1/3・1/3について、衝撃加振実験時の補強前後における応答波形の比較を示す。補強によって変位振幅が低減され、周期が短くなっていることがわかる。

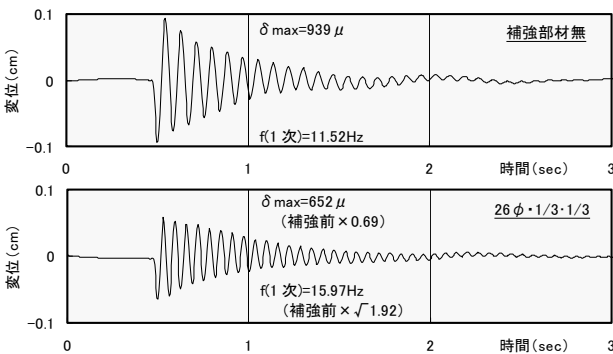


図-20 衝撃加振実験による応答変位波形の比較

図-21に衝撃加振および一人歩行による動的試験の結果を日本建築学会の性能評価曲線<sup>3)</sup>に重ねてプロットした状況を示す。これより、補強後の振動性能が高いランクの方向に変化することが確認できる。

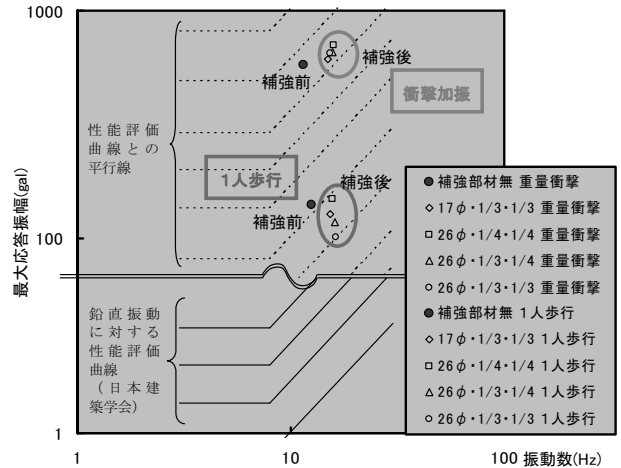


図-21 補強前後の振動特性の比較

### 3.5 長期計測実験

#### (1) 実験概要

本試験は、主として端部アンカーの抜け出しの有無を確認することを目的とする。図-22、写真-6に長期計測試験の状況を示す。本試験に用いた鋼製束は図-13の(a)の固定式タイプとし、設置位置は端部からスパンの1/3の位置とした。また、PC鋼棒は26φとし、張力はアンカーの長期許容引張力の0.4倍に相当する約70kNとした。なお、積載荷重は長期クリープ試験と同様にコンクリートブロックにより与えた。

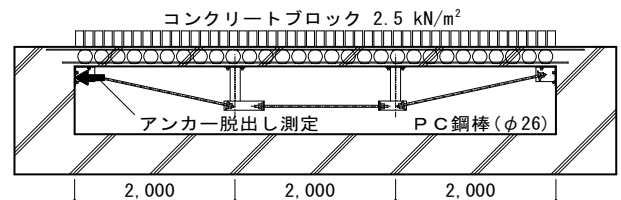


図-22 長期計測実験

#### (2) 実験結果

図-23に示すように抜け出し量は気温に応じて若干変化するが、顕著な抜け出しは認められなかった。技術書院発行の「あと施工アンカー・設計と施工」(文献4)には静的引張耐力に対する長期引張荷重の比が0.5以下であれば長期に渡って安定して挙動することが示されており、本試験でも同様の結果が得られた。

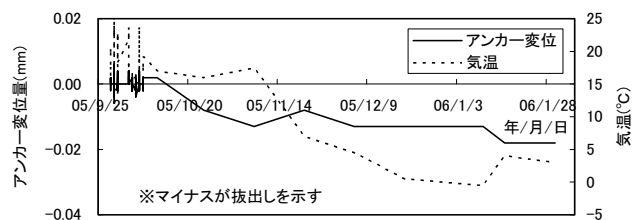


図-23 気温変化とアンカー変位量の推移

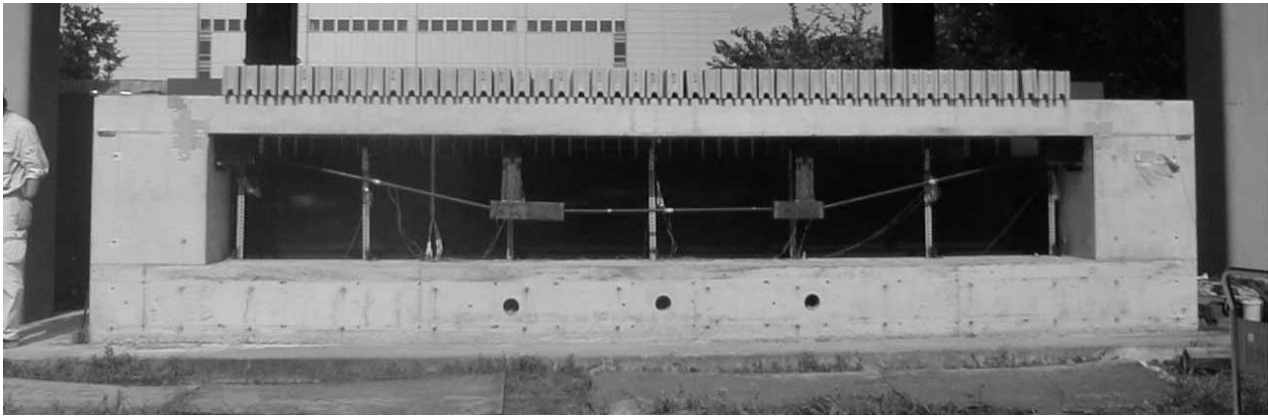


写真-6 長期計測実験状況

### 3.6 まとめ

- 1) 鋼製束と PC 鋼棒を用いたスラブ補強工法について、機構確認実験を行った結果、本工法は既存スラブのたわみを解消する効果を有することが確認できた。
- 2) たわみを解消する効果は図 1 3 の(b)のように下弦材の PC 鋼棒を引張る方が斜材を引張るよりも効率が良いことが確認できた。
- 3) 動的試験により、本補強方法は剛性増加に寄与し、振動性能を改善する効果を有することが確認できた。
- 4) 張力を樹脂アンカーの長期許容耐力(静的引張耐力の 0.4 倍)以下とすることでアンカーの抜け出しを防止できることを確認できた。

**謝辞**：本開発は、当社を含む計6社（鴻池組，五洋建設，錢高組，大日本土木，高周波熱錬，飛鳥建設）の共同研究により実施したものです。関係者各位に深く感謝致します。

#### 【参考文献】

- 1)加藤広宣他：トラス筋を用いたスラブ補強工法の開発 その1～2,日本建築学会大会(九州)学術講演梗概集 C-2,pp.155～158,2007
- 2)村田義行他：鋼製束とPC鋼棒を用いたスラブ補強工法の開発その1～2,日本建築学会大会(関東)学術講演梗概集C-2,pp.195～198,2006
- 3)日本建築学会：建築物の振動に関する居住性能評価指針同解説,2004.5
- 4)岡田恒男他：あと施工アンカー・設計と施工,技術書院,pp.78～79,1990.6

**Summary** : When reinforcing vibration-inducing slabs or slabs placed under heavier loads due to renewal, existing reinforcing methods involve problems such as poor performance of construction and difficulty in reinforcement while in service. The authors therefore developed a “method for reinforcing the floor by attaching truss reinforcing bars” and another “method for reinforcing the floor by tensioning pre-stressing steel”, both of which require compact reinforcing members and can be implemented easily.

**Keyword** : Slab Strengthening, Truss, PC Bars, Structural Experiment, Vibration Measurement