

報告

[2112] 組紐状アラミド繊維筋を用いた PPC 梁の免震住宅
基礎小梁への適用

正会員 岡本 直 (三井建設技術開発本部)
松原 澄行 (同 上)
正会員○谷垣 正治 (同 上)
正会員 蓮尾 孝一 (同 上)

1. はじめに

最近、炭素繊維やアラミド繊維等を用いたFRP材料を、コンクリート構造物の補強筋として実用化するために、これらを用いた試行建設が行われている。その多くは、主に土木分野におけるコンクリート橋梁用の緊張材として適用したものである。今回筆者らは、樹脂で含浸・硬化させた組紐状アラミド繊維による補強材を、免震住宅における基礎小梁の補強筋として用いる機会を得たので、その概要について報告する。本物件は、このようなFRP補強材(以下繊維筋と称す)を建築物の構造材料として用いた我国で最初の例である。また実際の施工に先立ち、実物とほぼ同一断面を有する梁の曲げ破壊試験を実施し、安全性等の確認を行ったので、その結果についても報告する。

2. 適用部位

本建物は、上部構造が鉄筋コンクリート造3階建の集合住宅で、基礎免震構法が採用されている。図-1および2に、組紐状アラミド繊維筋を用いた梁の適用部位を示す。免震層上部基礎の小梁(内のり4.9m)として、合計8本用いた。小梁部分は梁せい42cm、梁巾35cmでプレキャストのプレテンションプレストレストコンクリートであり、主筋、緊張材およびせん断補強筋にアラミド繊維筋が使用されている。プレキャスト部分は、現場において大梁間にセットされた後、鉄筋コンクリートスラブ部(厚さ18cm)を打設して一体化される。本小梁に使用したアラミド繊維筋の外観を写真-1に、またその種類および諸元を表-1に示す。小梁の緊張材にはK192を、主筋には繊維筋表面に珪砂

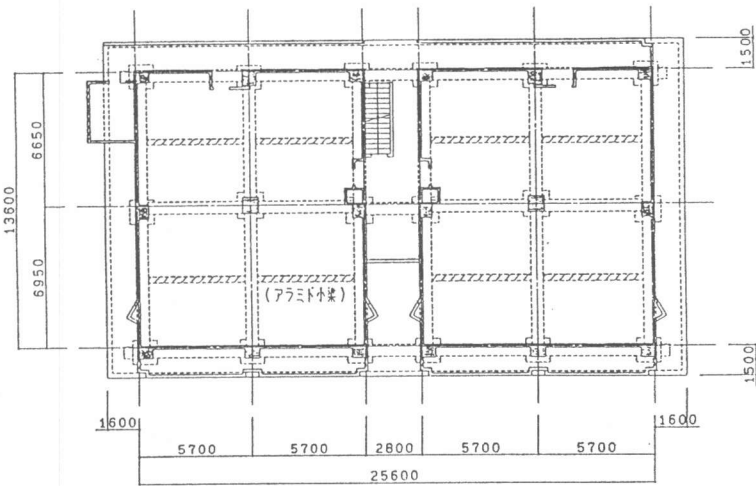


図-1 適用建物の平面図

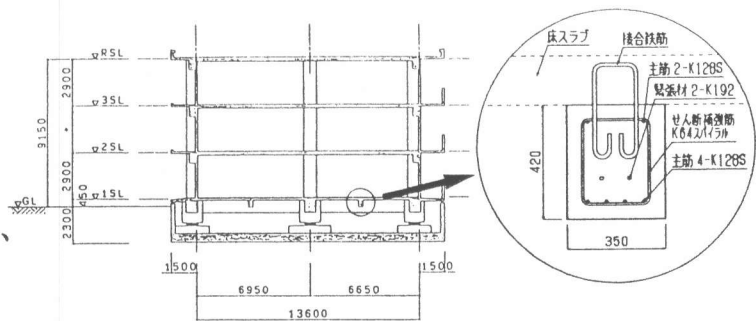


図-2 適用建物の立面図

を接着したK128Sを用い、せん断補強筋にはスパイラル状に加工したK64を用いた。

3. 設計概要

3.1 設計荷重

設計荷重は、固定荷重(D.L.)および積載荷重(L.L.)を考え、積載荷重には住宅用として(0.18t/m²)と設定した。設計は限界状態設計に基づいて行い、使用限界状態設計での荷重の組み合わせをD.L.+L.L.、終局状態設計では1.4D.L.+1.7L.L.とした。

3.2 材料

今回使用した組紐状アラミド繊維筋の引張耐力を表-1に示す。繊維筋の設計用引張耐力は、そのバラツキを考慮して、平均引張耐力より 2.5σ (σ :引張耐力の標準偏差)を差し引いた値に、さらに耐力低減係数を乗じて求めた。ここで主筋の耐力低減係数は、長期的な耐久性を考慮して0.85に、緊張材については高引張応力下における静的疲労を考慮して0.65、せん断補強筋については曲げ加工部での耐力低下を考慮して0.56に設定した。また、表-2にコンクリートの設計用材料定数を示す。

3.3 設計目標値と設計結果

小梁の設計断面を図-3に示す。小梁は、スラブ有効巾2.4mのT型梁として設計した。使用限界状態設計における検討項目は、長期たわみ、曲げひびわれ巾およびせん断力、終局限界状態においては、曲げ耐力およびせん断耐力とした。設計目標値と設計結果の一覧を表-3に示す。長期たわみについては、使用限界状態設計荷重(D.L.+L.L.)が作用した状態でスパンの1/250以下となることとし、これを満足するため有効プレストレス力を13.6 tonとした。これより、プレストレスの有

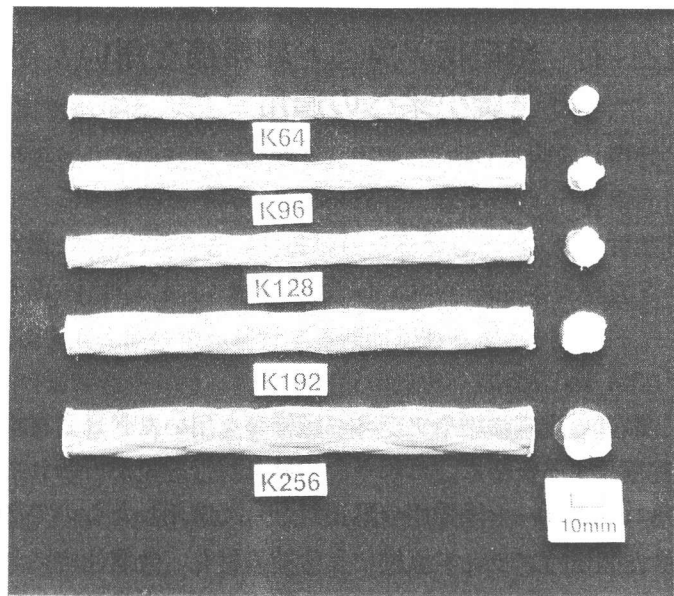


写真-1 組紐状アラミド繊維筋

表-1 組紐状アラミド繊維筋の諸元

	断面積 (cm ²)	ヤング率 (kg/cm ²)	引張耐力 (ton)			用途
			\bar{x}	$\bar{x} - 2.5\sigma$	設計用	
K192	1.35	0.60×10 ⁶	20.00	17.00	11.05	緊張材
K128S	0.90		13.14	11.80	9.44	主筋
K64	0.42		7.02	6.20	3.47	せん断補強筋

表-2 コンクリートの設計用材料定数

使用部位	圧縮強度 (kg/cm ²)	引張強度 (kg/cm ²)	曲げ引張強度 (kg/cm ²)	許容せん断応力度 (kg/cm ²)	
	設計基準強度 Fc	$\sigma_t = 0.07F_c$	$\sigma_{tb} = 1.8\sqrt{F_c}$	長期 5+F _c /100	短期
プレキャスト部分	330	23.1	32.7	8.3	12.5
スラブ	240	-	-	7.4	11.1

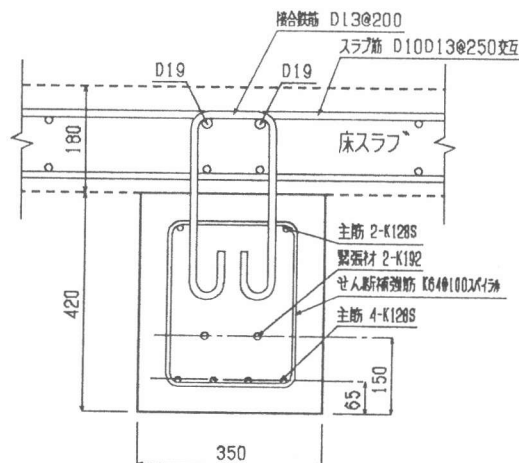


図-3 小梁の設計断面

効率を0.8^[3]とすると、初期緊張力は17.0tonとなる。有効プレストレス時のコンクリート下縁の圧縮応力度は $\sigma_p=17.2\text{kg/cm}^2$ 、コンクリートの設計用引張強度は $\sigma_t=23.1\text{kg/cm}^2$ である。使用限界状態設計荷重時のコンクリート下縁の引張応力度は 28.1kg/cm^2 であり、

$\sigma_p+\sigma_t$ 以下であるので、ひび割れ巾に対する検討を省略した。曲げ耐力は、スラブ筋の効果を無視し、平面保持を仮定した緊張材破断時の断面ひずみ分布から求め^[1]、曲げ耐力係数0.9を乗じた。せん断耐力は、梁せい60cm、梁巾35cmの長方形断面について、アーチ耐力とトラス耐力の重ね合わせから求め^[4]、せん断耐力係数0.8を乗じた。終局時のせん断補強筋一本当たりの負担力Fは、(1)式で求めるものとした。

$$F = 3.0 A_f \sqrt{E_f} \quad (1)$$

A_f : せん断補強筋断面積 (cm²)

E_f : せん断補強筋の弾性係数 (kg/cm²)

4. 部材の製造および施工

プレキャスト部分の製造は、図-4に示す製造手順に従い工場において行った。製造は1サイクル約4日間で行い、合計8本製作した。コンクリートには早強ポルトランドセメントを使用し、プレストレス導入時の圧縮強度を300

kg/cm²以上とした。下端4本、上端2本の主筋は、端部で圧着グリップにより定着されており、緊張材の端部には、割裂防止のため鋼製のスパイラル筋が挿入されている。緊張および導入は、写真-2に示すように、緊張材定着具として鋼製のスリーブと4つ割りのウェッジを用い、センターホール型の油圧ジャッキにより行った。また緊張端にセットしたロードセルにより、緊張力の経時変化を測定した。

表-3 設計目標値と設計結果

設計	検討項目	判定基準	設計結果
使用限界状態	長期たわみ (δ_L)	$\delta_L \leq \frac{L}{250} = 2.0(\text{cm})$	$\delta_L = 1.53(\text{cm})$
	許容せん断力 (Q_a)	$Q_a \geq Q_{SD} = 5.53(\text{t})$	$Q_a = 13.6(\text{t})$
	最大ひびわれ巾 (W_{max})	$W_{max} \leq 0.5\text{mm}$	$W_{max} = 0$
終局限界状態	曲げ終局耐力 (M_u)	$\phi_f \cdot M_u \geq M_{UD} = 12.5(\text{t}\cdot\text{m})$	$M_u = 17.1(\text{t}\cdot\text{m})$
	せん断耐力 (Q_u)	$\phi_s \cdot Q_u \geq Q_{UD} = 8.11(\text{t})$	$Q_u = 18.4(\text{t})$

L : 支持スパン
 Q_{SD} : 使用限界状態荷重時(DL+LL)のせん断力
 ϕ_f : 曲げ耐力係数(=0.9)
 M_{UD} : 終局限界状態設計荷重時(1.4DL+1.7LL)の曲げモーメント
 ϕ_s : せん断耐力係数(=0.8)
 Q_{UD} : 終局限界状態設計荷重時(1.4DL+1.7LL)のせん断力

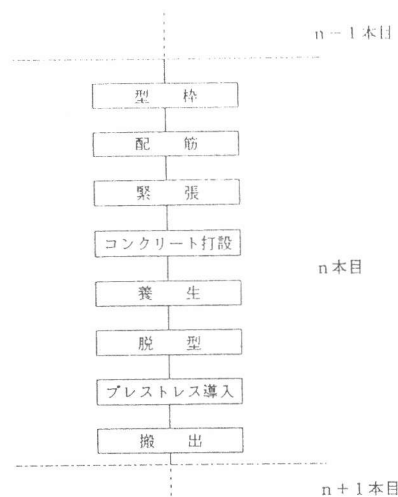


図-4 プレキャスト部材の製造手順

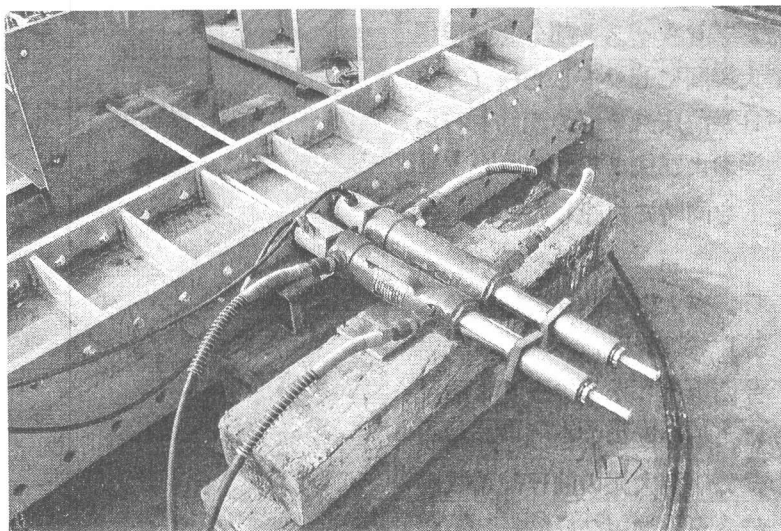


写真-2 緊張状態

緊張材一本当たりの初期緊張力は8.5tonである。また、コンクリート打設の直前に2次緊張を行った。図-5は、3本の小梁についての緊張材の張力変化を示している。緊張力は増減しながら徐々に減退し、プレストレス導入時には初期緊張力の85~94%になっていた。緊張力の増減は、同じ梁の2本の緊張材について同様の变化を示していることから、温度変化による鋼製反力

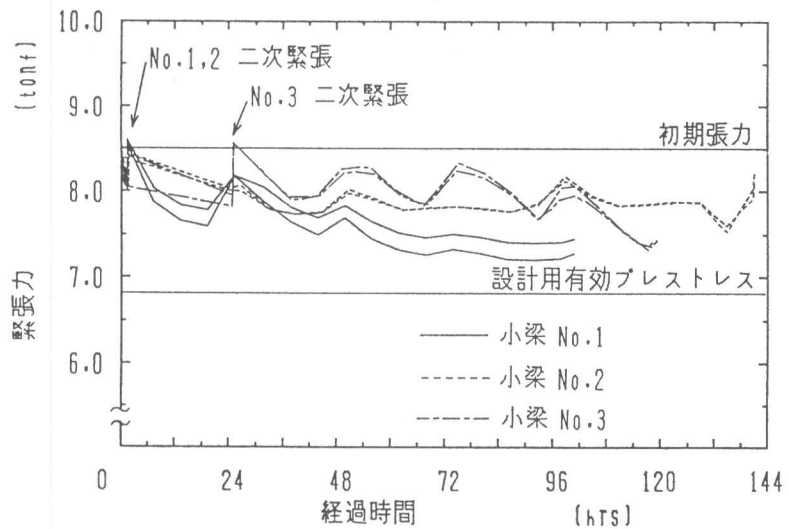


図-5 緊張力の経時変化

フレームとアラミド繊維筋の伸びの差によって生じたものと考えられる。コンクリート打設後3~6日間自然養生を行い、コンクリートが所定の強度に達したのを確認して、油圧ジャッキを解放してプレストレスを導入した。本繊維筋の比重が鉄筋の約1/5と軽量であるため、配筋作業が非常に容易であった。その反面、傷付きやすい材料であるので、各作業時において損傷を与えないよう配慮した。

図-6にプレキャスト部分と大梁、スラブとの取合いを示す。プレキャスト部分には、スラブとの一体性を確保するため、接合鉄筋(D13)が埋込まれている。大梁には、小梁端部を支持するためのコンクリートの受けが設けられている。プレキャスト部分を、現場で大梁間にセットした後(写真-3)、床スラブの配筋を行い、大梁および床スラブのコンクリートを同時に打設した。

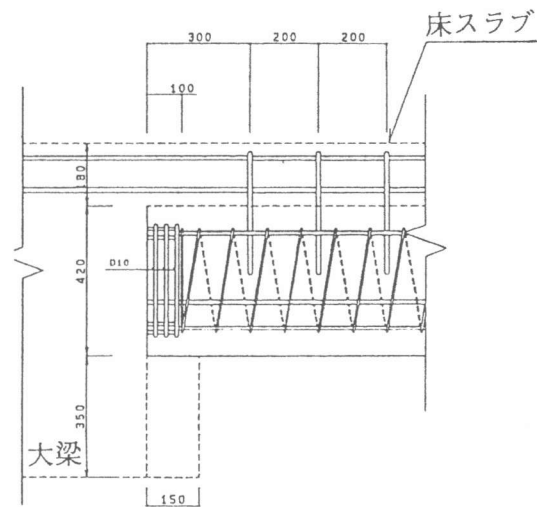


図-6 小梁と大梁との取り合い

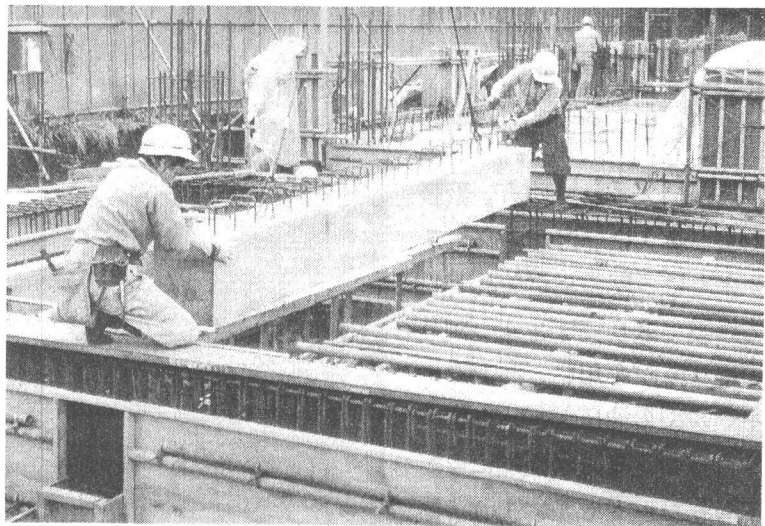


写真-3 小梁のセット

5. 実大梁の曲げ破壊試験

5.1 試験体

今回適用した、アラミド繊維筋による小梁の安全性を確認するため、実大梁の曲げ破壊試験を行った。図-7に試験体の断面を示す。試験体の断面は、実

施工されたものと若干異なっている。試験体の製作は、実施工小梁と同様に、長方形断面のプレストレストコンクリート部分を製作した後、床スラブ部のコンクリートを打設してT型梁とした。試験は図-8に示すように、支持スパン5.0m、加力スパン1.0mの2点集中一方向繰返し载荷方法で加力した。なお試験時におけるコンクリート強度は、プレストレスト小梁部で圧縮強度253kg/cm²、曲げ強度35.1kg/cm²、床スラブ部で圧縮強度276kg/cm²であった。

5.2 試験結果

図-9に荷重と梁中央部たわみの関係を示す。ひびわれ発生後終局点に至るまで、荷重-変形関係の包絡線はほぼ直線である。初ひびわれ発生荷重は12.5tonで、計算値(14.0ton)とほぼ一致している。梁は、荷重49.6ton(試験体自重を含む)で緊張材破断により終局状態に達したが、主筋は破断しなかったため、緊張材破断後も約35tonの復元力を保持していた。図中に精算法および略算法で求めた曲げ耐力を示す。表-4には、各耐力算定法の算定条件および算定結果を示す。ここで略算値は、設計時に用いた曲げ耐力算定方法であり、スラブ筋の効果を無視し、繊維筋の設計用引張耐力を用いて算定したものである。また精算値は、繊維筋の平均引張耐力を用いたファイバーモデルによって解析した値である。精算法による曲げ耐力と実験値はほぼ一致しており、試験体に用いた繊維筋は、表-1に示す平均

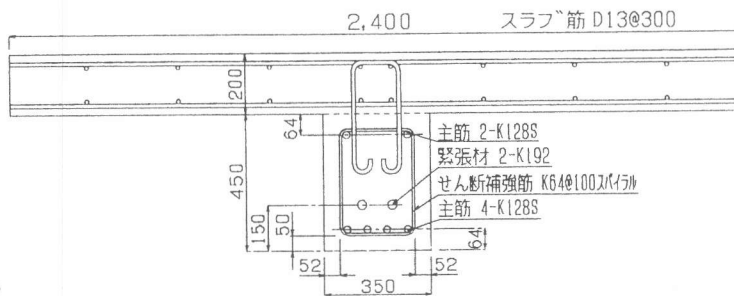


図-7 試験体断面

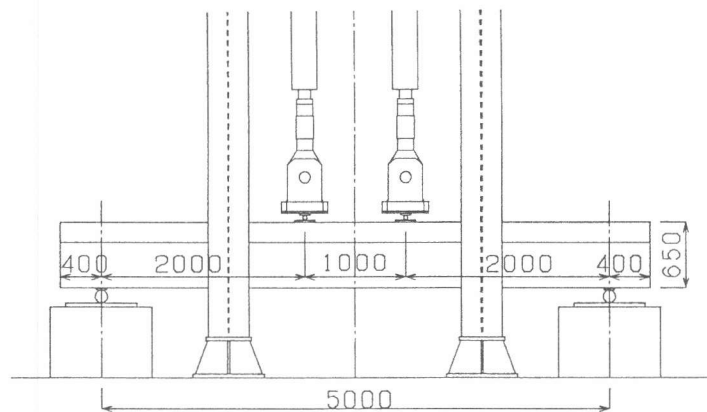


図-8 加力方法

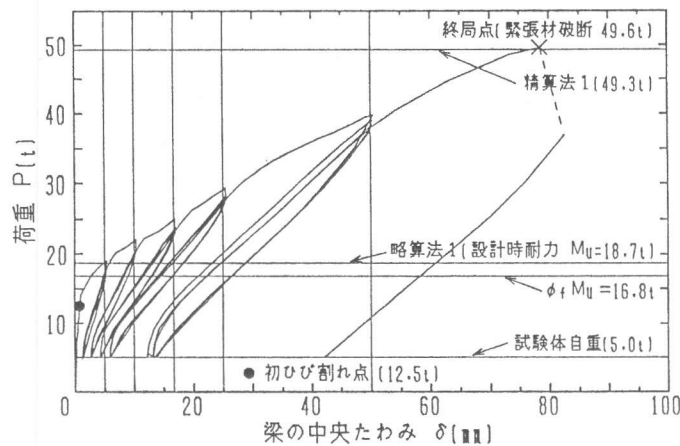


図-9 荷重と梁中央たわみの関係

表-4 各耐力算定法の算定条件と算定結果

算定法	算定条件			算定結果	
	補強材耐力	解析方法	スラブ筋	曲げ耐力 (t・m)	破壊モード
略算法	設計用	略算(文献1)	無視	18.7	緊張材破断
精算法	平均値	ファイバーモデル	考慮	49.3	〃
実験値	—	—	—	49.6	〃

引張耐力を有していたと考えられる。設計時に用いた略算法では、繊維筋の引張耐力に安全率を考慮していることならびに算定方法が安全側の仮定を用いているため、略算値は梁の実際の破壊耐力の約37%の評価となっている。したがって、本方法で設計された梁は、建設初期の状態では、設計荷重に対して3倍程度の安全率を有していることになる。

6. まとめ

組紐状アラミド繊維筋をプレキャストプレストレストコンクリート小梁として、実際の建築物に適用した。今回の適用の目的は、繊維筋の製造、運搬、配筋、緊張、コンクリート打設等、実施工にあたっての一連の作業工程を経験することで、問題点の把握や技術的ノウハウを蓄積することにあった。繊維筋を用いたコンクリート部材の製作および曲げ破壊試験より得られた事柄を以下に挙げる。

1. 補強筋は軽量のため、配線作業が容易であった。その反面、運搬、配筋およびコンクリート打設にあたって、補強筋に損傷を与えないよう配慮が必要である。
2. 緊張力は温度により変化するため、温度変化が大きいと予想される場合には、その影響を考慮しておく必要がある。
3. 実大の曲げ破壊試験により、試験体に用いた繊維筋は引張耐力の平均値を有しており、試験体は設計耐力に比較して3倍程度の安全率を有していた。

なお本物件では、繊維筋によるコンクリート梁を基礎部分の小梁として用いているので、耐火性能や地震時の繰返し荷重に対する性能は要求されていない。今後は、これらの特性を明かにし、繊維筋をより幅広く適用できるよう検討を行う予定である。

最後に、本小梁を製作するにあたって御協力頂いたオリエンタル建設(株)の関係各位、ならびに論文作成に御協力頂いたアイシーエス(株)小坂田 諭氏に深く感謝致します。

<参考文献>

- [1] 谷垣正治ほか：組紐状アラミド繊維補強材を用いたP R C梁の曲げ性状に関する実験的研究、日本建築学会構造系論文報告集、第420号、pp. 31-41、1991
- [2] 岡本直ほか：アラミド繊維による組紐状棒材の研究(その9 . P R C梁の長期載荷性状)、日本建築学会大会梗概集C、pp. 153-154、1989
- [3] 谷垣正治：F R P緊張材の有効プレストレスについて、J C Iシンポジウム論文集、プレストレス原理・技術の有効利用、pp183-186、1991
- [4] 谷垣正治ほか：組紐状F R Pロッドをせん断補強に用いたコンクリート梁のせん断性状、第8回日本地震工学シンポジウム、pp. 1365-1370、1990
- [5] 遠藤克彦ほか：アラミド繊維による組紐状棒材の研究(その16 . プレキャストプレテンションP R C実大梁の曲げ試験)、日本建築学会大会梗概集C、pp883-884、1991
- [6] ACI 318-83 : Building Code Requirements for Reinforced Concrete