

特集

P C 建 築

建築分野における複合構造

渡辺 誠一*

1. はじめに

建築分野における構造材料の主要なものは、言うまでもなく、鋼材とコンクリートそして木材である。

これらの材料にはそれぞれ材料としての特性があり、強度上の特性のみならず耐火性、耐久性、耐候性などに関して、長所短所を合せ有するものであることから、我々は、それらの特徴を建築構造材として有利な組合せとして合成構造、あるいは複合構造として開発してきた。

それらは、従来から慣れ親しんできた複合構造である鉄筋コンクリート構造、鉄骨コンクリート構造、鉄骨鉄筋コンクリート構造、プレストレストコンクリート構造まで、今日では経済性、施工性、労務事情による工法の合理化、構造部材として性能の改善など、多くの社会的要求から、きわめて多岐にわたる複合構造（構造断面も含めて）が出現している。そのうちでも工法としてのプレキャスト化と組立工法では各社各様の開発があり、目を見張るものがある。本稿では、従来の各種構造（複合構造）の現状を簡単に述べ、新しく工夫され、開発されたものについてはできるだけ実例をあげて述べることにする。

2. 各種の複合構造

(1) 木 構 造

従来、木造住宅などの、木構造においては木材を単材として梁、柱に用いてきた。言うまでもなく、合板（ベ

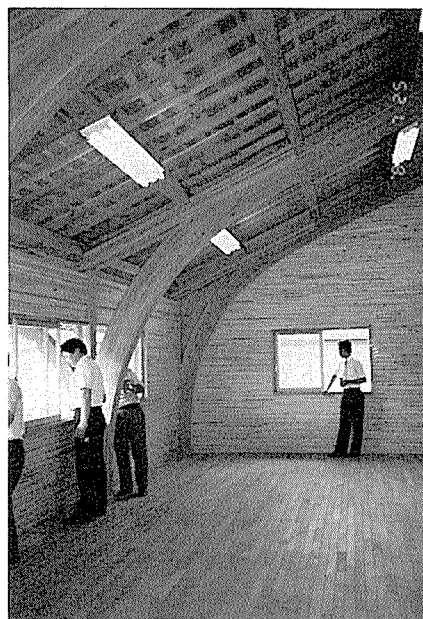


写真-1

ニヤほか）や積層材などは仕上げ材として古くから使用されてきた。近年、構造材として、天然木材の欠点を除いた良質部分を用いた構造用集成材が開発され、昭和61年から65年度にかけて行われた建設省の「新木造総プロ研究開発」や、建築基準法の一部改正（昭和62年法律第66号）により木造建築物等に係る防火等に関する制限の緩和等が行われ、木造大断面構造集成材の使用が可能となった。このことにより、大空間架構に対して木構造の使用の幅が広がり、各地に木造の大空間構造が出現することとなった(写真-1)。

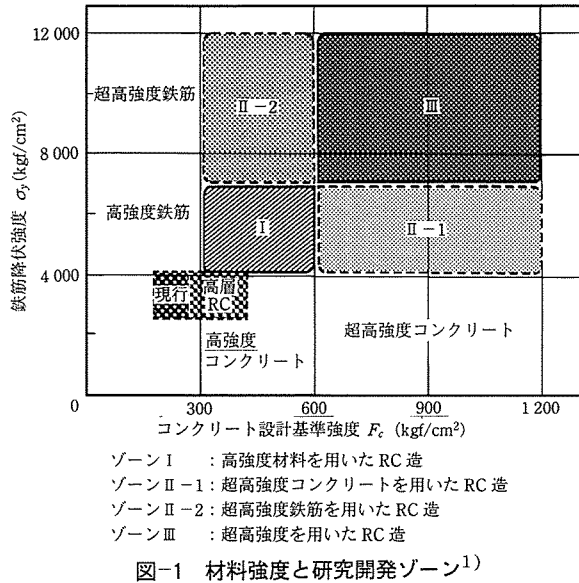
(2) 鉄筋コンクリート構造（RC構造と略称する）

RC構造は、コンクリートの引張強度が小さいという弱点を鉄筋用棒鋼で補ったきわめて合理的な複合構造である。耐火性、耐久性共にすぐれた構造であることは今さら言うまでもないが、最近の鉄筋コンクリート複合構造の開発、特にコンクリート材料の開発は著しい。

昭和63年度から始まった建設省総合技術開発プロジェクト「鉄筋コンクリート造建築物の超軽量・超高層化技術開発」では近未来に可能と考えられる鉄筋とコン



* Seiichi WATANABE
椋山女学園大学
生活科学部生活環境学科
教授・工博
(元：(株)伊藤建築設計事務所
常務取締役)



クリート強度の組合せを図-1に示す4つの領域に区分して検討を行っている。

現在一般に使用されているコンクリートの強度レベルは普通コンクリートで 270 kgf/cm^2 以下、軽量コンクリートで 240 kgf/cm^2 以下である。これは JASS 5 で普通コンクリートで 360 kgf/cm^2 、軽量コンクリートで 270 kgf/cm^2 以下を適用範囲としていることから、これ以上の場合には建設大臣の認定が必要となることが多いためと考えられる。また、高強度コンクリートと呼ばれるものは約10年間(1980～1991)で $400 \sim 600 \text{ kgf/cm}^2$ となっていることが文献¹⁾で述べられている。

一方、鉄筋用棒鋼は異形鉄筋が用いられ、現在 JIS 規格では、SD 490 まで、また、その径は最大で D 51 まで規定されている。また、FRP ロッドの開発とともに、それらがコンクリート複合断面に用いられている。

また、せん断補強筋では、高強度鉄筋 (80 kgf/mm^2 級の鋼棒や PC 鋼棒 130 kgf/mm^2 のもの) を帯筋として用いる建設大臣認定品などがあり、高強度の鉄筋コンクリート複合構造として、新しい断面性能が登場してきている。その他、有孔梁のせん断補強製品も省力化を目的として多数の製品が開発されている。それらの一覧を表-1に示す。

このように、コンクリート強度の上昇と「壁式ラーメン鉄筋コンクリート構造建築物の技術的規準」といった構造設計法の開発に伴って、従来の6階建てかつ20m以下のものから6階以上11階建て、軒の高さ34mまでが、現行法規の下で鉄筋コンクリート構造として設計可能となった。

また、現在、日本建築センターで評定を受け建設大臣の認定をとったものの最も高い RC 造は、地上45階建て、高さ160mのラーメン架構の高層集合住宅があ

表-1 (財)日本建築センターの評価を取得した製品
(平成5年9月現在)

評価番号	評価品名	会社名
BCJ-C 1363	パワーレン	東京鉄鋼
BCJ-C 1419	ダイヤレン	コーリョー建販
		堀江建築工学研究所
BCJ-C 1531	ダンガード	省建工業
BCJ-C 1532	東急式ウェブレン	東急建設
BCJ-C 1533	ウェブレン	ティエム技研
BCJ-C 1545	マイティハーリー	栗本鐵工所
BCJ-C 1548	ワンダーリング	日世、北興工業
BCJ-C 1567	ニューリンレン	丸井産業
BCJ-C 1587	リバーレン	川鉄テクノワイヤ
BCJ-C 1611	MK リング G	松井金網
BCJ-C 1612	新 SG リング	ニッケンビルコン

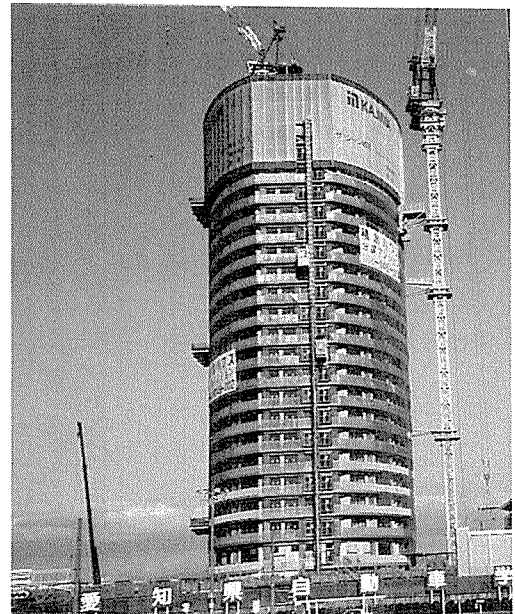


写真-2 ザ・シーン城北⁷⁾(地上45階建て、160m、RC造集合住宅)

り、目下施工中である(写真-2)。この建物ではコンクリート $F_c=600 \sim 240 \text{ kgf/cm}^2$ 、主筋 SD 490～SD 345、柱芯筋に SD 685 を用いている。

(3) 鉄骨コンクリート構造

鋼は一般の住宅に用いられている軽量鉄骨から超高層ビルに用いられている重量鉄骨へと、架構法の高度化とともに構造用鋼材も多様化している。

従来、構造用鋼材は無規格材から SS 400、SM 490 A などが主流であったが、最近では、①高張力鋼 60 キロクラス、②TMCP 鋼、③耐火鋼、④極低降伏点鋼、⑤新ステンレス鋼などが開発され、それらを用いたコンクリートとの複合構造や鋼管コンクリート、あるいは鋼板との組合せによるコンクリート複合断面構造なども開発されている。

一方、建築構造用圧延鋼材の JIS 規格(NS 材)が制定され、従来の鋼材の弱点を補う形のものとなった。要点をあげれば、

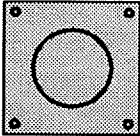
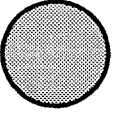
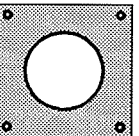
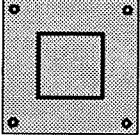
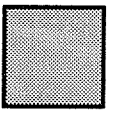
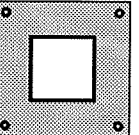
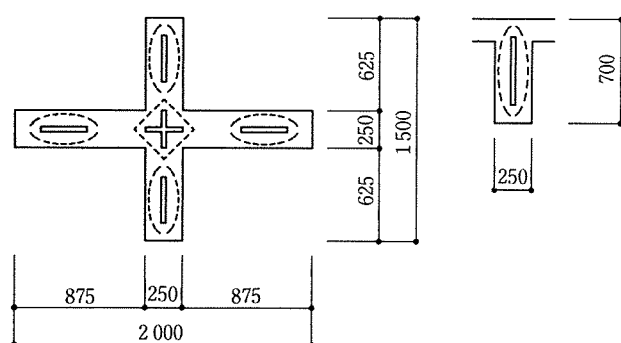
	充填被覆型	充 填 型	被 覆 型
(a) 円形鋼管			
(b) 角形鋼管			

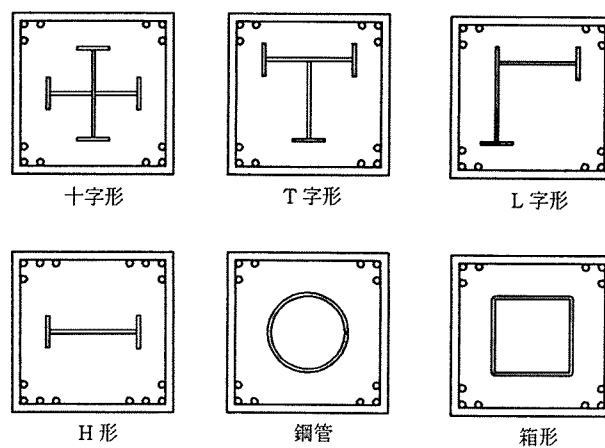
図-2 鋼管コンクリート柱

図-3 プレートコンクリート²⁾

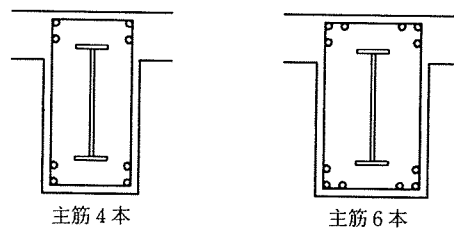
- ① 強度区分として 400 N/mm^2 , および 490 N/mm^2 の2種類
- ② 用途としては A, B, C の3種
- ③ 6 mm 以上～100 mm 以下の鋼板, 帯鋼, 形鋼, 平鋼
- ④ 降伏強さの上限を規定
- ⑤ 降伏比の上限を規定 (80 % 以下)
- ⑥ 超音波探傷試験を行う規定
- ⑦ 板厚方向絞り値の規定
- ⑧ 化学成分の規定 (C, S) が SM 材より厳しくなる
- ⑨ 炭素当量, 割れ感受性組成の規定
- ⑩ シャルピー衝撃値特性が SM 490 B クラスと同等に規定
- ⑪ 板厚はマイナス側の公差を 0.3 mm に統一などである。

(4) 鉄骨鉄筋コンクリート (SRC と略称する)

SRC は 1963 年に日本建築学会から計算規準が出され, 設計法も累加強度による簡便なものであったことから, 広く普及することとなった。当時は鉄骨が形鋼の構成でリベットによる組立部材であったが, 溶接技術の発達と普及にともない, 板構成による溶接断面が用いられるようになり, 今日に至っている。接合もリベットから高力ボルト摩擦接合へ, そして今日, 現場溶接接合も多



(a) 柱



(b) 梁

図-4 SRC 断面

く用いられるようになった。SRC の難点はコンクリートの充填性にあり, 特にビームカラム交差部の充填性の問題は現在でも重要な研究課題の一つである。

最近では, 板構成による I 形, 十字形ほか, 各種の鉄骨形状と鉄筋, コンクリートの複合断面とするほか, 鋼管にコンクリートを充填したものや, 鋼管をコンクリートで被覆したものなど, 複合構造としてバラエティに富んだものが開発, 設計されている。

(5) プレストレストコンクリート構造 (PC と略称する)

PC 技術が我が国に導入されたのは 1952 年である。プレキャスト材として使用実績の多い欧米諸国からの技術導入であったことから, 当時専ら組立て構造物への利用に限られて場所打ち一体式架構への利用はきわめてまれであった。その後技術の発達とともにコンクリート系構造物でも架構スパンの長大化が望まれて, 長大スパンに適する PC 部材の使用が多くなった。また, 同時に大型部材の運搬・組立を必要とせず, かつ, 架構への一体性を確保できる柱 RC, 梁 PC の現場打ち一体式架構が用いられるようになった。さらに, プレストレスト鉄筋コンクリート (PRC) 構造が普及するに及んで, この工法はますます多く使用されるようになった。しかし, ここ数年前より, 現場における労務事情の悪化から, プレキャスト (PCa と略称する) 部材の組立架構が多くなりつつあり, PCa 部材と場所打ちコンクリートとの複

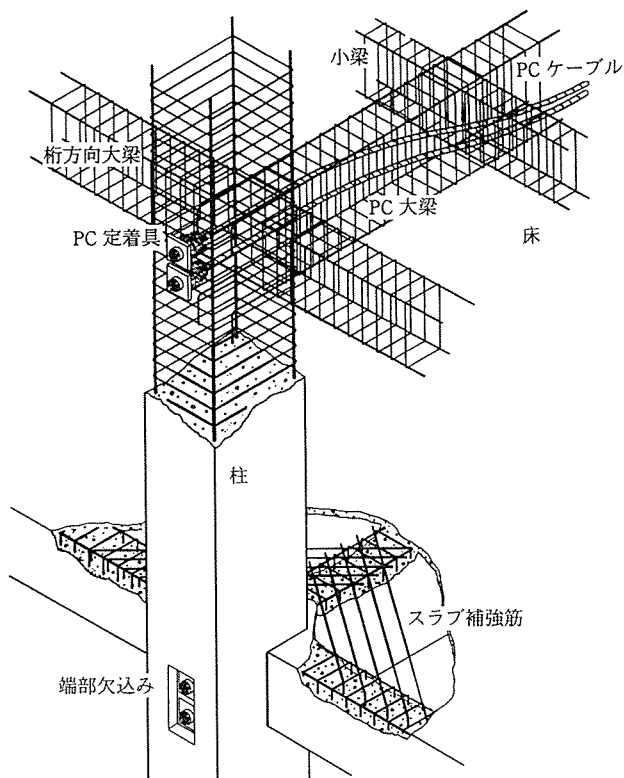


図-5 場所打ち PC 架構概念図

合構造が、多く開発されている。特に床構造には多くの工法がある。

3. 部位別にみた合成構造

(1) 合成梁

合成梁を大別すると以下になる。

① 鉄骨梁+場所打ち RC スラブ

場所打ち RC スラブを、通常のベニヤ合板 (コ

ンパネ) を型枠に使用して打設するもの (仮設) とハーフプレキャスト板との合成断面とするもの、あるいは、デッキプレートなど鋼板との合成断面とするものなどが用いられている (図-6 (a)(c))。

② 鉄骨梁+上部 RC 梁およびスラブを場所打ちとする (図-6 (c))。

③ RC 梁 (プレキャスト)+場所打ち RC スラブ
場所打ち RC スラブは①と同じように各種の組合せがある (図-6 (b))。

④ PC 梁 (プレキャスト)+場所打ち RC スラブ
③の場合の RC を PC 断面としたもの。

⑤ PC 梁+上部 RC 梁およびスラブを場所打ちとする。

など、種々の合成梁断面が用いられている。

(2) 合成柱

合成柱は SRC 構造で述べたことにつぎるが、最近では鉄筋コンクリートの柱を鋼板で巻いてせん断補強する構造も用いられており、これも、合成構造の一つといえる。

また、鋼管 (casting 鋼管も含めて) にコンクリートを充填する鋼管コンクリートもその一つである。

(3) 合成スラブ

これは (1) 合成梁でふれたように、上部の場所打ちコンクリートとその下部にどのような材料、または、部材を用いるかによって多くの工法が開発されている。

ここでは主な工法の略称と特徴を挙げるにとどめる。

① オムニア工法: RC の PCa 板の上に場所打ち RC。

② カイザー工法: 同上。

③ オムニアボイド工法: ①の工法で場所打ち RC

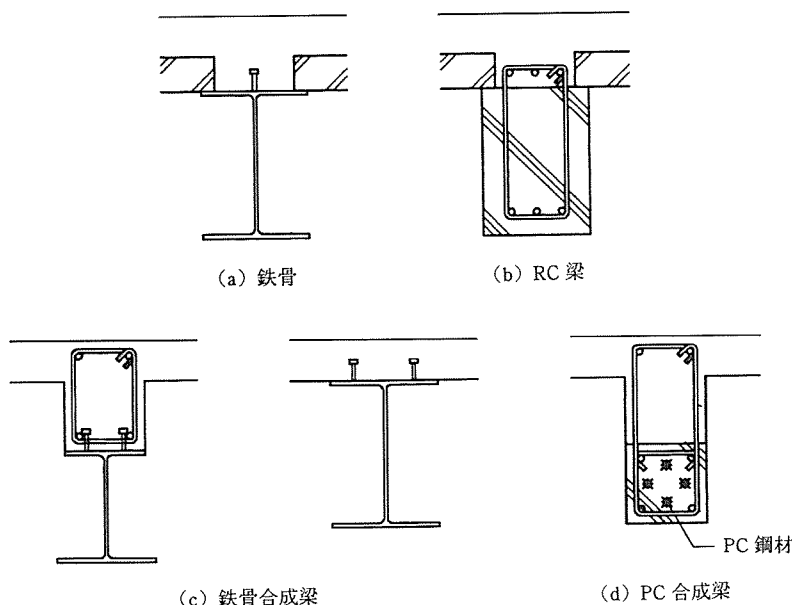


図-6 合成梁

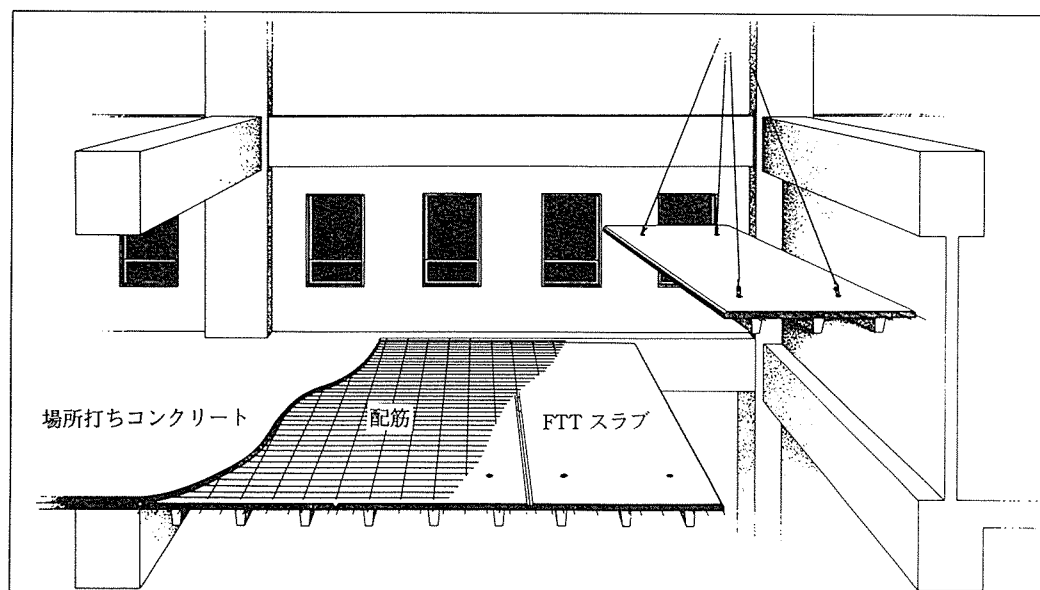


図-7 FTT 工法の概念図

にボイドを打ち込み重量の軽減をはかる。

- ④ カイザーボイド工法：②の工法にボイドを用いる。
- ⑤ PICOS 工法：RC の PCa 板に場所打ち RC。
- ⑥ スパンクリート工法：PC 穴あき PCa 板に場所打ち RC。
- ⑦ ダイナースパン工法：ほぼ同上。
- ⑧ FC 工法：PC の M 形状の PCa 板に場所打ち RC。
- ⑨ π スラブ工法： π 形状の PC の PCa 板に場所打ち RC。

PC の PCa 板は、各社各様の形状を開発しており、

⑨と同様の合成床工法として、

- ⑩ PCS 工法 ⑪ FTT 工法
- ⑫ DV 工法 ⑬ アーチ床工法
- ⑭ KS 工法 ⑮ CST 工法
- ⑯ ACS 工法

等、多くの工法がある。

一例として FTT 合成スラブ工法の概念図を図-7 に示す。

(4) 合成耐力壁

これには、鉄筋コンクリートの耐力壁の耐力やじん性(変形性能)を向上させるもの、または剛性機構を恣意的に変化させるもの、プレキャスト板を型枠がわりに用いるものなどがある。

まず耐力やじん性の向上のための SRC 構造の場合として、

- ① 平鋼をブレースとして組み込んだ RC 耐力壁
- ② 鉄板入り SRC 耐力壁

次にプレストレスを導入したものとして、

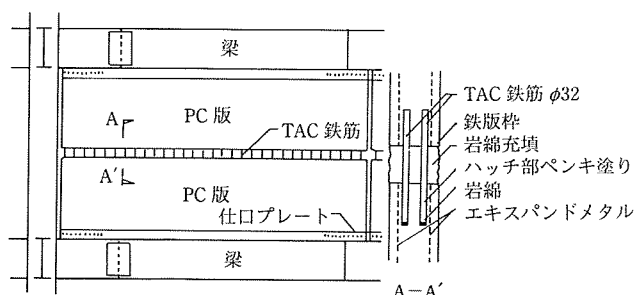


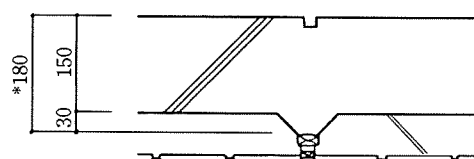
図-8 TAC 壁³⁾

- ③ プレストレストコンクリート耐力壁
剛性機構を恣意的に変化させるものとしては、
- ④ スリット入り RC 耐力壁
- ⑤ TAC 壁³⁾

上記の 2 例は鉄骨フレームに組み込まれた耐力壁で、小さな水平力に対しては高い剛性を持ち、設計で意図した以上の大きい水平力に対しては、部分的な損傷により、耐力壁としての剛性を小さくして、入力エネルギーを小さくおさえようとするものである。

- ⑥ ハーフプレキャスト板を用いた RC 耐力壁

これは、仕上げ工事などの能率化と省力化をねらったもので、コンクリートプレキャスト板の耐力を耐力壁の耐力に算入することのできる工法を開発した製品もあ



プレキャスト部材の 30mm を耐力に算入

図-9 PCF 耐力壁工法の壁厚⁴⁾

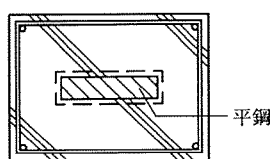
る。

(5) 合成ブレース

鉄骨構造において主にブレースの耐力上昇をねらったものだが、上記合成耐力壁と同様に剛性を変化させる、すなわち、可変剛性機構をもたせたブレースも開発されている。それらは、

- ① アンボンドSRC ブレース
- ② SRC ブレース
- ③ プレストレストコンクリートブレース

などがある。



----- 付着絶縁剤

鉄筋コンクリートが座屈拘束材

図-10 アンボンドSRC ブレース



写真-3 アンボンドSRC ブレースを用いた架構

4. 架構としての混合構造（または合成構造）

前項で部位別に合成断面について述べたが、それらの断面部材を架構の一部に用いた場合、その特性を生かした構造設計を行うことで、架構としての変形能力または構造特性を改善することができる。ここでは、それらの代表的なものについて述べることにする

① 柱SRC+梁S合成梁

これはSRC構造のうち、スパンの大きい場合に、梁の重量の軽減や、梁成を小さくするために、用いられることが多い。その例を写真-4に示す。これは筆者の設



写真-4(a) リバースハンチ鉄骨建方

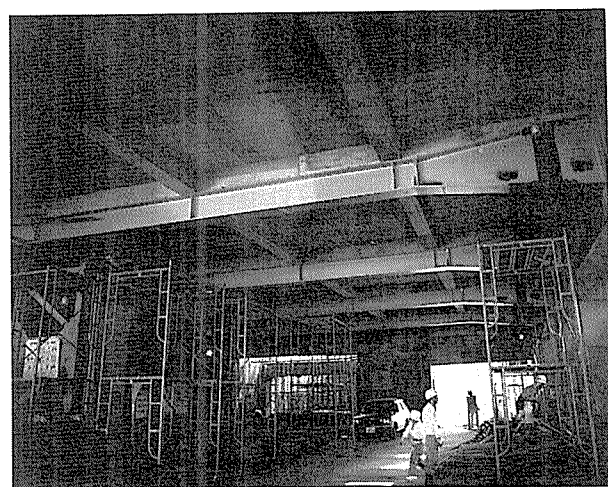


写真-4(b) リバースハンチ鉄骨合成梁

計で、梁中央部で下部をSとし上部をRC梁T形スラブとの合成梁とし、地震時応力の大きい端部では、鉄骨梁の成を大きくした上下にハンチを設け、S梁とRCスラブの合成梁としている（筆者は、リバースハンチ付き合成梁と呼称している）。

② 柱RC+梁S合成梁

これは、経済性と施工の合理化をねらって、柱をRC造、梁をS造とした異種構造部材の組合せによる架構形式で、柱梁接合部に、各種の工夫がなされ、ゼネコン各社で種々の工法を開発している。これによりRCに比べスパンの長大化、柱のプレキャスト化がはかりやすくなるため施工の合理化につながっている。図-11はその一例である。

③ 柱RC+梁端部RC造、中央S合成梁

上記②と同じように長大スパンに適する工法であるが、端部をRCとしているため、柱梁接合は梁RCのPCa梁と同じディテールとなる。その一例を図-12に示すが、このような混合部材は今後多く開発されるであろう。

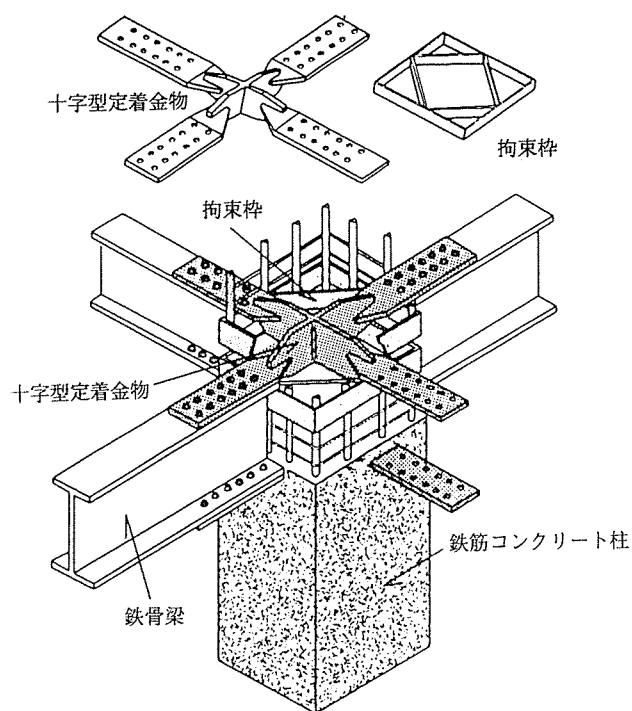


図-11 RC柱+S梁コネクション⁵⁾

④ 柱 RC+プレキャスト PC 合成梁

従来、比較的多く用いられているものである。図-13に示す例は筆者の設計例で、梁の下部に成の小さいプレキャスト PC 部材を用いることで場所打ち部梁に、設備ダクト等の梁貫通を容易に行えるようにしている。

⑤ 柱プレキャスト PC+梁プレキャスト PC 合成梁

柱、梁部材共プレキャストで組立ラーメン架構（圧接

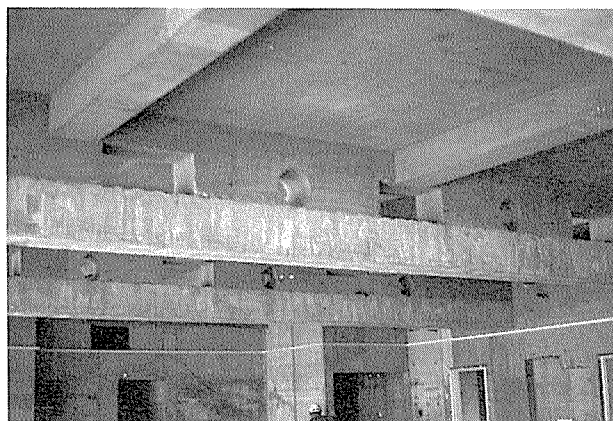


写真-5 PCa の PC 合成梁

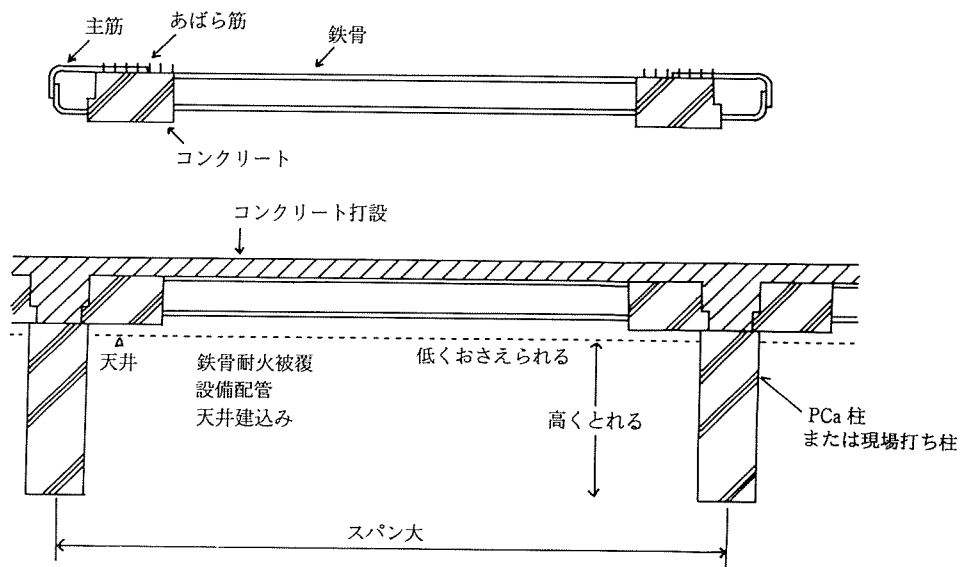


図-12 柱 RC+梁端 RC, 中央 S⁶⁾

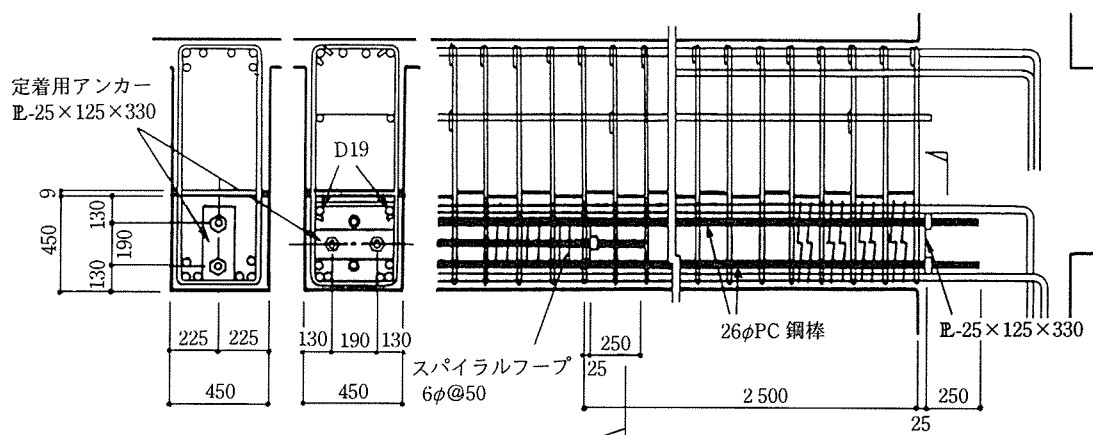


図-13 PC 合成梁

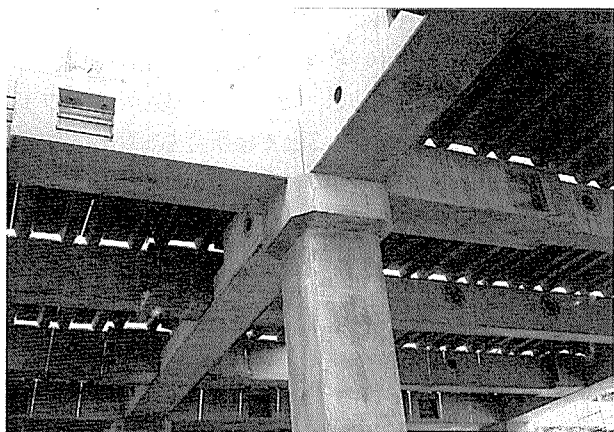


写真-6 プレキャスト PC 組立ラーメン架構（施工中）

接合）とし、小梁、床板もプレキャスト部材とし場所打ちコンクリート合成構造としたもので、最近、多く行われている。

写真-6 は筆者の設計したビール工場製品棟で、2 階がビン詰め工場であるが、DV 合成床板、小梁、大梁、柱ともプレキャスト部材の組立工法によっている

5. おわりに

以上、建築分野における複合構造および混合構造について概説してきた。構造設計とは、何にましても、安全性と経済性のバランスのもとに行われるものであるが、今日の労務事情による現場作業の省力化に対応した複合構造の利用（それは部材の品質管理のうえからすると、場所打ちコンクリートよりも工場製品であるプレキャスト

ト部材の利用という形で）は、ますます盛んになるであろう。また、架構としての混合構造も今後増加の兆しがみられる。しかし、それらを用いた架構の変形性能、あるいは構造特性係数などは、現行のものでは必ずしも十分とは言えず、新しく研究されるべき分野であろう。また、こうした新しい研究が新しい架構（混合構造）の創造を誘発することを期待するものである。

おわりに、本稿をまとめるに当たり、資料の収集にご協力をいただいたフドウ建研(株)設計部佐藤卓夫氏に感謝申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 高強度コンクリートの現状，日本建築学会，1991 年
- 2) 古田智基ほか 4 名：プレートコンクリート構法の開発研究 その 3 中低層建物の設計法の提案，日本建築学会大会学術講演梗概集（東北），1991 年 9 月
- 3) 富島誠司，原孝文：三河湾を一望するホリディ・タワーの構造設計，鉄構技術，1990 年 7 月
- 4) 外壁 PCF 工法設計・施工マニュアル，（株）竹中工務店東京本店，1988 年
- 5) 鈴木宏一ほか 2 名：十字型定着金物を用いた鉄筋コンクリート柱と鉄骨はりとの接合部の力学性状，日本鋼構造協会第 1 回鋼構造シンポジウム論文集，1993 年 7 月
- 6) 田中幸雄ほか：はり S・柱 RC で構成される柱はり接合部の耐力と靱性に関する実験的研究（その 1～2），日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿），昭和 62 年 10 月
- 7) 大川潤ほか 2 名：超高強度 RC 造集合住宅の耐震設計 その 1 設計方針と構造設計概要，日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）1994 年 9 月

【1995 年 3 月 20 日受付】