

委員会報告

「混合構造研究委員会報告」

委員長 小倉弘一郎(明治大学)

1. 委員会設立の背景と活動状況

土木建築構造物には古くから鋼と鉄筋コンクリートあるいはプレストレストコンクリートを組み合わせた多くの構造あるいは構造部分の例がある。例えば土木では鉄筋コンクリートの橋脚と鋼の橋げた、栈橋における鋼支柱とRCデッキ、鋼杭とRCフーチング、更には斜張橋における側径間と中央径間で重量の相異を設計応力の平均化に巧みに利用したプレストレストコンクリート桁と鋼桁の組み合わせによる複合主桁など非常に大胆な骨組みがある。建築では、古くからは鉄骨造における鋼柱の柱脚部と鉄筋コンクリートフーチングとの取り合いがあり、最近では柱が鉄骨鉄筋コンクリートあるいは鉄筋コンクリートで、梁が鉄骨の骨組みなどがある。そこでは、鋼の部材と、コンクリート系部材の特性を活かし、部材を適材、適所に用いて、力学的に最も合理的、かつ効果的な構造を造っている。この種の構造が、一般に「混合構造物」と呼ばれている。

現在、その例は土木、建築ともかなり多いのではあるが、設計の考え方は多種多様であり、まとまった参考文献が少ない。特に建築では、建築基準法で、一般のホモジニアスな構造、つまり鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造、プレストレストコンクリート造、鉄骨造については構造についての大きな規準が示されるが、混合構造については、その章もなく全く規準が示されていない。このような事情の下に、日本コンクリート工学協会〔JCI〕の研究委員会に、主として建築系の会員からの要望研究テーマがあり、1989年3月に混合構造研究委員会が設置された。

本研究委員会は1992年3月に終了したわけであるが、最終年の1991年12月3日に日本都市センターにおいて、委員会の研究成果をもとに、JCI主催で「混合構造の力学的挙動と設計、施工に関するシンポジウム」を開催した。シンポジウムに当たり「混合構造研究委員会報告書」、「混合構造の力学的挙動と設計、施工に関するシンポジウム論文集」が出版されているので、本研究委員会の成果の詳細についてはそちらを参照していただきたい。

以下では上述の「混合構造研究委員会報告書」の内容を抄録的に紹介する。なお、報告書の作成に当たっては委員外の西村泰志講師(大阪工業大学)、平城弘一助教授(摂南大学工学部)にもご協力を戴いた。厚くお礼申し上げます。

混合構造研究委員会

- | | | |
|-------|------------------|-----------------|
| <委員長> | 小倉 弘一郎(明治大学) | |
| <幹事> | 田中 礼治(東北工業大学) | |
| <委員> | 飯塚 信一(西松建設) | 石橋 一彦(千葉工業大学) |
| | 清宮 理(運輸省港湾技研) | 坂口 昇(清水建設) |
| | 佐藤 政勝(川崎製鐵) | 竹内 浩一(石川島播磨重工業) |
| | 中西 靖直(三菱建設) | 野口 博(千葉大学) |
| | 濱嶋 剛(久米エンジニアリング) | 町田 篤彦(埼玉大学) |
| | 町田 重美(東京建築研究所) | 松井 繁之(大阪大学) |
| | 南 宏一(福山大学) | 吉野 次彦(フジタ) |
| | 渡辺 左千男(日本設計) | |

2. 「混合構造研究委員会報告書」の紹介

委員会報告書は6章よりなっている。報告書は、土木、建築の各分野において次の諸点に重点をおき構成されている。

土木分野では、1989年に、土木学会より「鋼・コンクリート合成構造ガイドライン」が出版され、その6章「鋼・コンクリート混合構造」を中心に本構造の設計、施工の技術の現状がかなり詳しく紹介されている。本報告書では重複を避け、その場でふれる事の少なかった異種部材相互の接合について、4章の4.1で接合設計についての基本的検討の成果を示した。また土木での大規模かつ大胆な混合構造の設計施工例を3章の3.2で示し、建築系の読者の勉強の資料とした。

建築分野では、柱がSRCまたはRC、梁がSの骨組構造に限定して、これらについての設計、施工例を3章の3.1で紹介し、この構造における柱・梁接合部の実験データの紹介と諸研究者あるいは設計者による応力伝達メカニズムの考え方、設計手法などについて4章、5章に示した。最後に不十分ながら6章で柱RC、梁Sの骨組構造に限定して、その梁・柱接合部の設計手法についてのガイドラインを示した。以下に各章の概要を示す。

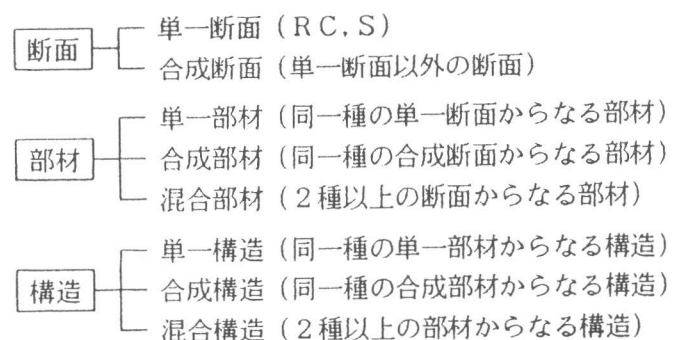
2.1 2章「混合構造の定義とその特徴」

混合構造は、土木分野では複合構造の一部、建築分野では合成構造の一部と分類している例があること、また、海外での分類例についても示している。しかし、現在建築・土木の分野で用いられる「合成」、「混合」、「複合」の用語の使い方については、明確の拠り所がない。そこで、本委員会では断面のレベルで異種材料を組み合わせるものに対し「合成」を、部材レベルで異種材料を組み合わせるものに対し「混合」を用いることとし、断面、部材、構造の分類と定義の試案として表2を示した。ついで、この章では混合構造に関連した既往の研究、基、規準および特徴についても整理し、詳述している。

表1 土木における分類例

分類	内容
I. 合成構造 Composite Structures	部材断面が異種材料の組合せによって構成され、一体として作用するもの
a) 合成桁 Composite beam or girder	鋼桁の上にRC床版をのせ、両者をずれ止めで結合したもの
b) H鋼埋込み桁、あるいはSRC桁 Concrete encased steel beam	H型鋼、あるいは溶接I断面鋼梁等を鉄筋コンクリートばりの中に埋込み、一体として作用させた桁
c) 合成柱あるいはSRC柱 Concrete encased steel column	鉄骨を鉄筋コンクリートの中に埋込み、一体として作用させた柱
d) 鋼管コンクリート柱 Concrete-filled tubular steel column	鋼管や矩形断面鋼柱の中にコンクリートを充填したもの
e) 合成壁 Composite wall	連続した鋼柱列をコンクリートで被覆した壁体構造(土留めや基礎等)
f) 合成床版 Composite slab	鋼製床組をコンクリートに埋込んだ床版、鋼板とコンクリートを合成した床版、箱断面鋼床版にコンクリートを充填した床版等(主として橋梁用)
g) 合成シェル Composite shell	曲面鋼板とコンクリートを複層に連結した構造
II. 混合構造 Mixed Structural system	異種材料から成る部材を組合せた構造システムで連続桁、ラーメン橋、斜張橋等、種々の構造形式がある

表2 断面、部材、構造の分類と定義



2.2 3章「混合構造の設計・施工の現状」

「3.1 建築構造の実施例」では、混合構造の実態調査として17社、48件のアンケート調査を行った。混合構造のうち、構造部材の主な組み合わせは表3のようになっている。この組み合わせのうち、柱RC・梁SRC、柱SRC・梁RC、柱S・梁RCおよび柱S・梁SRCの実施例は少ない。次に、柱、大梁、小梁、スラブにおける異種部材の組み合わせの実態、異種架構の組み合わせなどの混合構造の形態的分類の実態についても調べている(表4)。

振動特性として、日本建築センターのビルディングレターからのデータをまとめ、柱SRC、梁Sの混合構造のT(一次固有周期)とH(建物地上高さ)の関係を示した(図1)。

表3 構造部材の組み合わせ

はり	柱	RC造	混合構造*	SRC造	混合構造*	S造
RC造	RC造	○ 混合構造				
混合構造*	混合構造*		○ 混合構造			
混合構造*	混合構造*			○ 混合構造		

※実施例が少ない

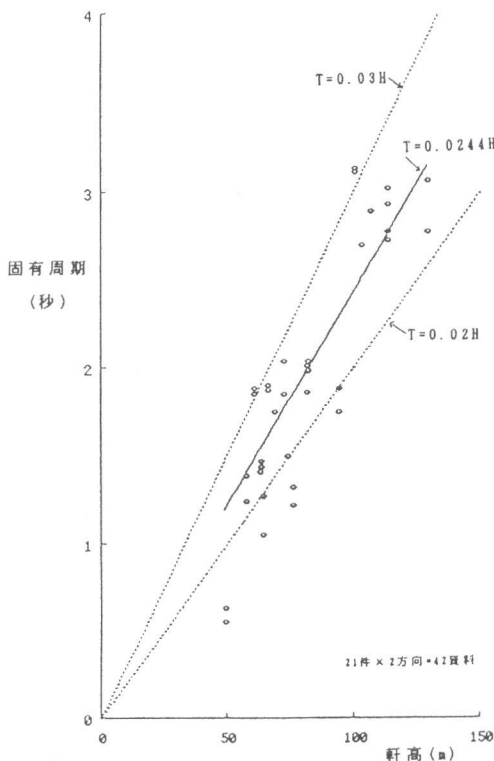
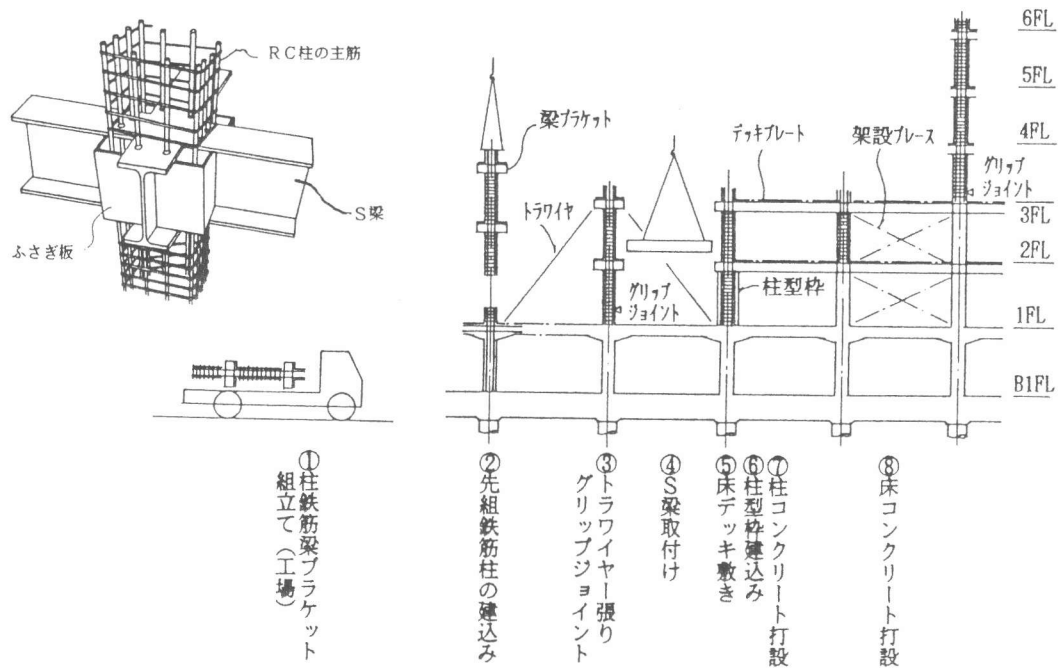


図1 柱SRC・梁S造建物の固有周期と高さの関係

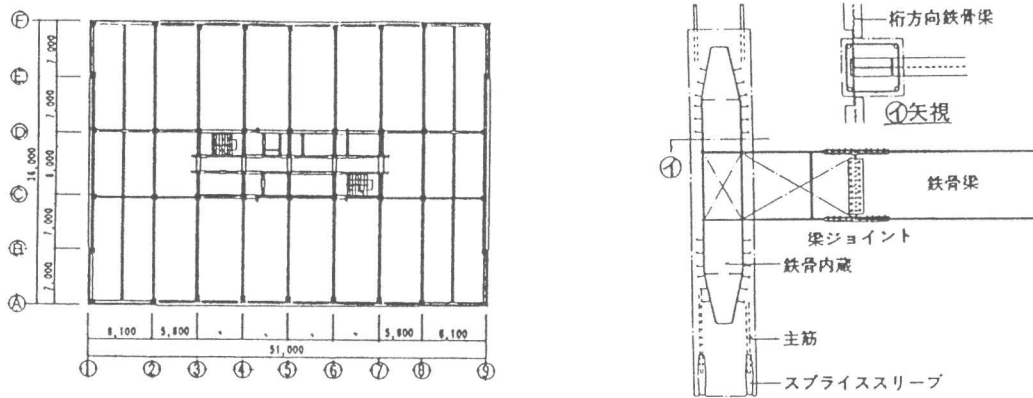
表4 混合構造の形態的分類

構造の形態	RC部材	SRC部材	S部材	種-NO.		
(a) 異種断面が組合わさった部材 	柱		上層部	A-1		
			下層部	A-2		
		下層部	上層部	A-3		
	大梁	端部	中央部	A-4		
		中央部	端部	A-5		
		先端部	基部	A-6		
(b) 異種部材が組合わさった骨組 	柱		大梁	B-1		
	柱	大梁		B-2		
	大梁	柱		B-3		
		柱	大梁	B-4		
	CFT柱	大梁		B-5		
	CFT柱		大梁	B-6		
(c) 異種骨組が組合わさった架構 	高さ方向による組み合わせ	下階	上階		C-1	
		下階		上階		C-2
		上階	下階			C-3
			下階	上階		C-4
	平面的ゾーンによる組み合わせ	外周部		内部一般(一部)		C-5
		コア部		内部一般		C-6
			外周部	コア部		C-7
		コア部		外周部	内部一般	
	平面的ブロックによる組み合わせ (ブロックAとブロックBによる)	Aブロック	Bブロック			C-9
		Aブロック		Bブロック		C-10
		Bブロック	Aブロック			C-11
			Aブロック	Bブロック		C-12
		Bブロック		Aブロック		C-13
			Bブロック	Aブロック		C-14

さらに、柱SRC、梁S及び柱RC、梁Sの混合構造に関する現行の設計上の問題点、行政的扱いの例示などが整理され述べられている。建築の混合構造の施工の現状として、柱RC、梁Sの構造について実施例(図2)が示されている。実施例4件について計画、実施設計手法、施工の問題点の詳細が示されている。



a) RCSS構法の施工例

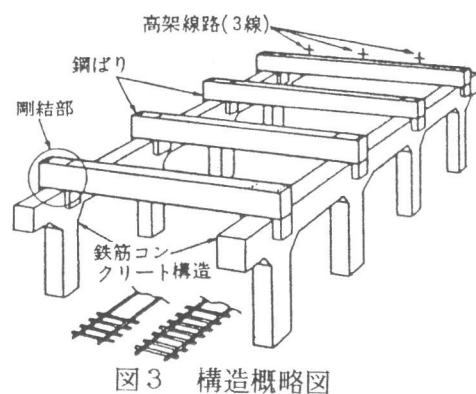


b) 柱RPC+梁Sの構造の施工例

図2 建築の混合構造の施工例

「3.2 土木構造の実施例」では以下の混合構造の7設計例が紹介されている。

- 1) 混合形式立体ラーメン・第三綾瀬高架橋(図3)
- 2) メラン固定アーチ橋・別府明礬橋 (図4)
- 3) コンクリート固定アーチ橋・旭橋と城止橋
- 4) 鋼, PC混合主桁斜張橋・生口橋 (図5)
- 5) 混合構造斜張橋・菅原城北大橋 (図6)
- 6) 鋼・コンクリート複合ラーメン橋、阿古耶橋 (図7)
- 7) 第2ボスポラス橋主塔基部



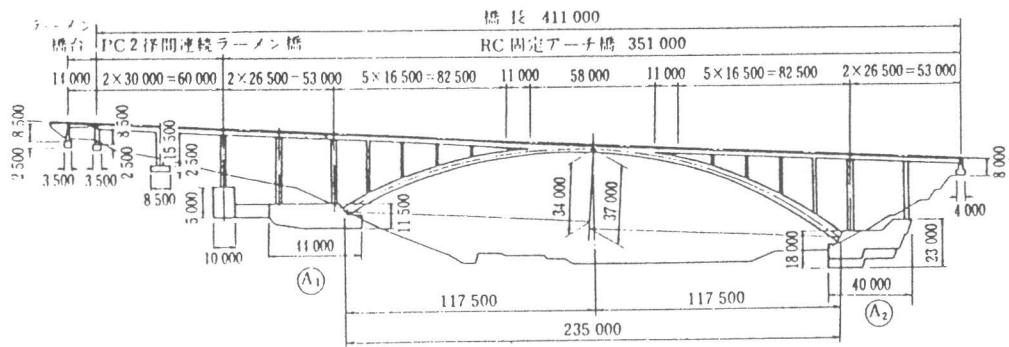


図4 別府橋一般図

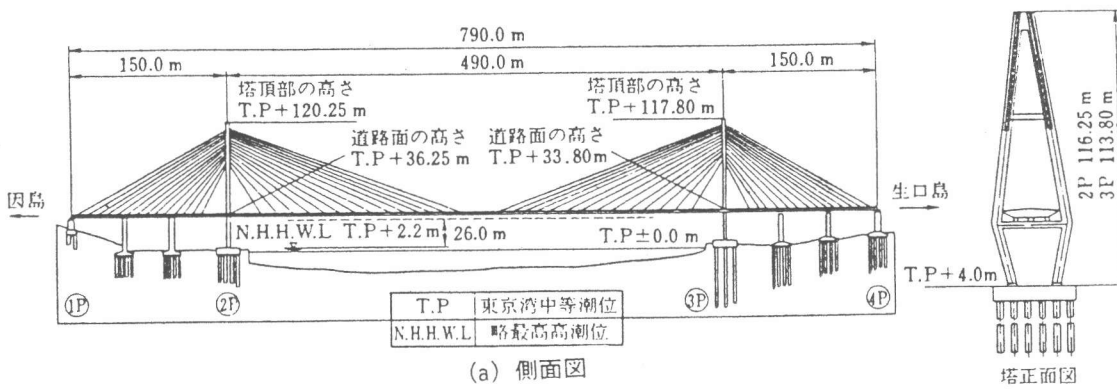


図5 生口橋一般図

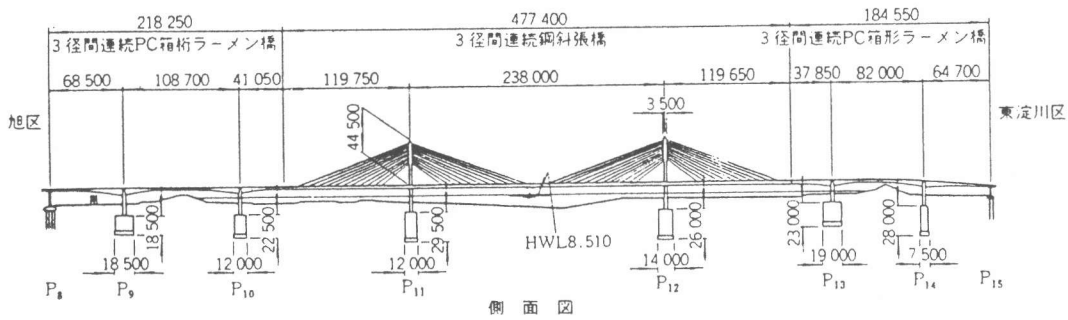


図6 菅原城北大橋一般図

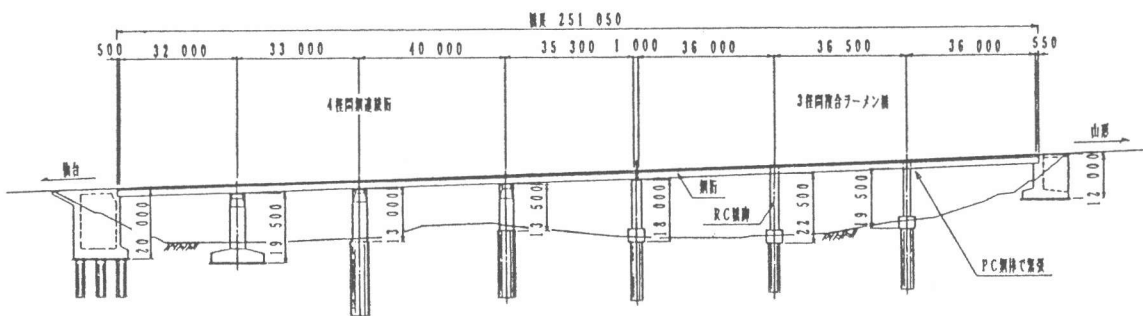


図7 阿古耶橋一般図

2.3 4章「異種部材の接合方法及び接合部の力学的性状」

「4.1 接合方法」では、異種部材相互の接合について基本的検討について述べている。即ち、接合法を図8に示すように、曲げ応力（圧縮軸力「支圧」と引張軸力「引抜き」による偶力）とせん断力によるものに分け、これを更に「ずれ止めによる接合」、「軸力による接合」、「せん断抵抗による接合」及び関連する「鋼とコンクリートの付着の性状」に分けて、実用されている諸接合装置（工夫）による力の伝達メカニズム、その耐力式、変形性状、疲労強度などについて記述している。土木・建築を問わず、異種部材の接合設計に有用な資料と考える。

例えば、「ずれ止めによる接合」では合成、混合構造におけるスタッドの活用状況として①通常の合成桁、②合成床版、③プレフレックス合成はり、④合成柱、⑤合成トラス、⑥合成壁、⑦支承、⑧伸縮継手、⑨鋼製杭の杭頭処理、⑩柱基礎の固定、⑪井筒型基礎の補強、⑫その他の合成部材・合成構造、⑬混合構造の斜張橋に分けてそれぞれの構造におけるスタッド利用の現況について整理し示している。

次に、スタッドの強度式についての国内外の既往の研究を整理し示している。せん断抵抗による接合では、(1)ほぞ、

(2)コンクリートの直接せん断について検討している。鋼材とコンクリートの付着による接合では、(1)構造用鋼材の付着特性、(2)突起付鋼材の付着特性について検討している。

「4.2 柱SRC、梁Sの接合部の力学的性状」で、建築の柱SRC、梁Sの骨組については、現在日本建築学会のSRC規準の適用範囲内であるという見解の上で、柱梁接合部での応力伝達に関して、主として柱内の鉄骨曲げ耐力 $csMA$ と梁鉄骨曲げ耐力 $bsMA$ の比 ($csMA/b sMA$) 及び接合部内のスチフナーの形状、寸法に着目し、SRC規準での考え方、既往の諸研究からの知見を紹介している。また、柱内の鉄骨曲げ耐力と柱曲げ耐力の比を主要な実験変数とした南、西村等による柱SRC、梁Sのト型骨組の実験的研究及び応力伝達機構に関する解析的研究を紹介し、接合部耐力の評価法、 $csMA/b sMA$ 値の適切な値を提案している。

「4.3 柱RC、梁Sの接合部の力学的性状」では、建築の柱RC、梁Sの骨組に限定して、その柱・梁接合部に関して、諸研究者によって行われた様々な接合形式、補強方法についての実験とその解析について詳細な解説を示した。接合部及び応力伝達における工夫をもとに分類した結果として表5を示している。表5では、接合部の構成に関しては、大きく分けて次の4つに分類している。

- ①SRC……………接合部内にS梁ウェブが存在し、接合部のせん断抵抗要素としてS梁ウェブを考慮するもの。
- ②SRC+鋼板…接合部内にS梁ウェブが存在し、接合部の外周を鋼板で補強しているもの。外周鋼板に関しては、せん断抵抗要素として考えるものと拘束効果だけを考えるものがある。
- ③RC+鋼板…接合部内にはS梁ウェブが無く外周を鋼板で補強しているもの。外周鋼板はせん断抵抗要素として考え、充填鋼管コンクリートの接合部と同様に考えられる。
- ④RC……………S梁ウェブ、外周鋼板とも無く、接合部のせん断抵抗要素として鋼材を考えていないもの。

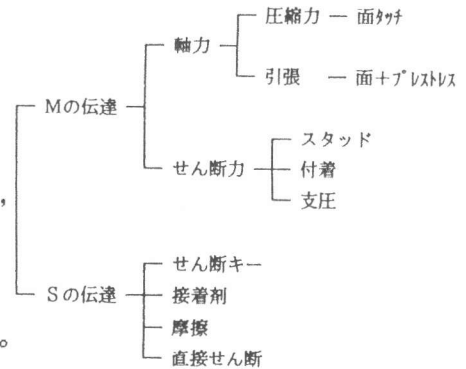


図8 異種部材の接合法

表5 接合部及び応力伝達における工夫による分類

接合部の分類	S R C		SRC+鋼板		RC+鋼板		R C	
	有		有		有		有	
	有	一部有*	有	一部有*	有	無	有	無
接合部内ウェブ	有				無			
接合部内フランジ	有	一部有*	有	一部有*	有	無	有	無
鋼板補強	無		有		有		無	
応力伝達における工夫	なし	①, ⑦		⑩, ⑬		⑫		
	スタッドボルト補強	②						
	アンカー筋補強	③, ⑬ (No3)						
	柱端部をSRC	⑭						
	柱主筋をフランジに定着	⑦	⑧	⑤		⑯ (RCS3)		
	柱端部をバンドプレート補強	①			④, ⑤, ⑨, ⑮			
	ダボ筋補強			⑤				
	柱を芯鉄骨補強				⑤, ⑮			
	接合部のRC部分拡大補強	⑬ (A-3)	⑬ (A-1)					⑬ (A)
	梁端部をSRC	⑬ (A-3)	⑬ (A-1)					⑬ (A)
	Sはり特殊ボルト定着	⑬ (C-3)	⑬ (C, C1, C2)					⑬ (B)
	Sはり特殊ボルト定着							⑩
	柱面位置に鉛直スチフナ	⑮ (No5, 8) (A3, A4)				⑭ (A-2)		⑭ (A-1)
	外ダイアフラム						⑰ (RCS2)	
特殊フープ	⑮ (No8)	⑮						
高強度コンクリート				⑮	⑰ (RCS3)	⑰ (RCS2)	⑮	

注)・表中の番号は文献番号に対応。

2.4 5章「柱RC，梁Sからなる骨組の力学的性状」

柱RC，梁Sの混合構造（表6，図9）の静的および動的な弾塑性地震応答解析を行い、等規模の柱，梁RC骨組のそれと比較検討し、地震力の建物高さ方向の分布係数Ai値、応答変形量、接合部パネルの復元力特性の応答変形に及ぼす影響などを論じている。骨組の崩壊形としては、梁崩壊形及び梁降伏後、梁，柱接合部の崩壊形を選び、柱，梁及び梁，柱接合部の復元力特性は相当する実験より定めている。解析の結果、以下のようなことが認められた。

- ①建物高さ方向に対する設計用地震力の分布は、建築基準法施行令によるAi分布の現行算定式に基づいて算定した場合と、弾塑性地震応答によるせん断力分布とはよく一致していた。
- ②固有周期の算定において、混合構造の場合は、現行の略算式による値と精算値とは差が大きく、混合構造建物については略算式を別途検討する必要がある。混合構造の剛性はS造とRC造の間であると考えられる。
- ③各層の応答せん断力係数は、混合構造，RC造ともほとんど同じである。
- ④梁降伏後接合部が破壊するようなモデルであっても、接合部パネルの建物全体の応答に与える影響は少なく、「パネル剛」として解析可能である。

表6 解析モデルの断面寸法

層	混合構造		RC造	
	MRモデル		CRモデル	
	柱	はり	柱	はり
R	-----	H-300×600	-----	U-450×900
5	□-800×800	H-300×600	□-800×800	U-450×900
4	□-800×800	H-300×600	□-800×800	U-500×1000
3	□-800×800	H-300×600	□-850×850	U-500×1100
2	□-800×800	H-300×700	□-850×850	U-500×1200
1	□-800×800	H-300×1800	□-900×900	U-900×2000

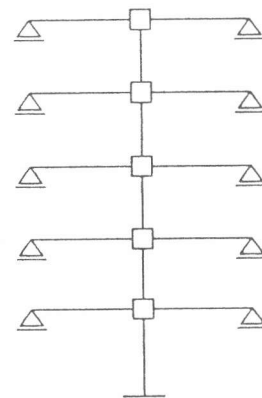


図9 解析モデル

2.5 6章「混合構造の設計ガイドライン」

土木では、前掲の鋼・コンクリート合成構造の設計ガイドライン（土木学会）の6章に、数例にわたって各種混合構造の設計、施工の現況が解説されているので、それを参照していただくとして、ここでは触れない。ここでは建築系の柱RC、梁Sの骨組に限定し、更にはその梁、柱接合部のチェックの手法についてその素案を提案している。図10に示すようなA：ふさぎ板等による接合部コンクリート拘束型、B：エンド・プレートによる拘束型、C：テーパ型、D：梁貫通型の4種類の接合部形式について接合部のせん断耐力の算定手法を示した。

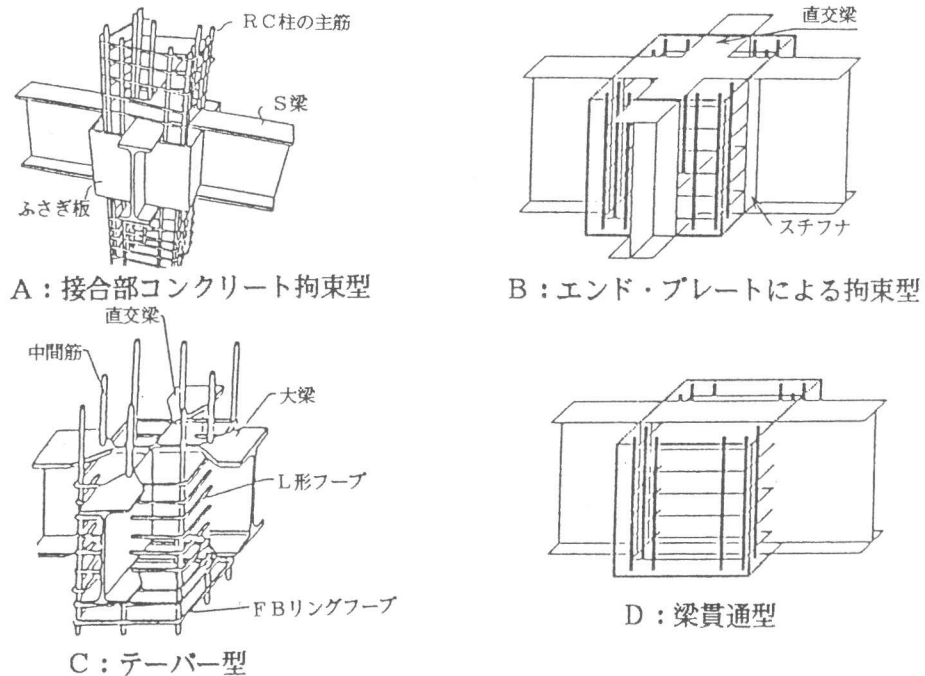


図10 設計ガイドライン上の接合部形式

ここでは柱RC、梁Sの接合部のせん断耐力 Q_F の算定法の素案として、(1)式の算定式を提案する。

$$Q_F = k_{SRC} \times 0.3 \sigma_B \times A_{C1} + w \sigma_y / \sqrt{3} \times A_w \dots \dots (1)$$

ただし、 k_{SRC} ：接合部コンクリートの拘束度に応じた有効係数、 σ_B ：コンクリート圧縮強度

$$A_{C1} = \frac{\text{柱幅}}{2} \times \text{柱せい},$$

$w \sigma_y$ ：ウェブ鉄骨の引張降伏応力

A_w ：ウェブ鉄骨の水平断面積（エンド・プレートの場合、外-外寸法をとる。貫通型は、接合部内全断面をとる。ただし、ふさぎ板や直交方向梁付け根のエンド・プレートなどの補強板は算定にいない。）

ただし、 k_{SRC} の値としては、接合部の補強方法の形式別に、

A：接合部コンクリート拘束型→1.07, B：エンド・プレートによる拘束型→0.77

C：テーパ型 →0.61, D：梁貫通型 →0.54

上記の係数を採用すれば、おおそディテールに応じた接合部のせん断耐力が評価できることになる。ただし、ディテールの工夫により k_{SRC} の値は1.07よりさらに増大することが実験の例からも明かであり、この場合、検討しているディテールに近い既往の実験結果を参考にするか、または、実験により k_{SRC} の値を求めればよい。逆にディテールによっては、 k_{SRC} が上記の値よりやや低くなる例もあるので、注意するのが望ましい。 [以上]