

## 形状の異なる固形エンドタブを用いた柱梁接合部の破壊実験

## その1 実験結果

柱梁溶接接合部 固形エンドタブ  
端部欠陥 亀裂 变形性能  
低温試験

正会員○原 章<sup>\*1</sup> 同 中込 忠男<sup>\*2</sup> 同 的場 耕<sup>\*3</sup>  
同 笠原 基弘<sup>\*4</sup> 同 岩田 衛<sup>\*5</sup> 同 村山 敬司<sup>\*6</sup>

## 1. はじめに

柱梁接合部の梁端溶接に固形エンドタブを用いると、ひずみ集中点は柱側（ダイアフラム側）にも生じる。また、溶接の始終端が母材幅の範囲内に存在するため、鋼製エンドタブに比べて内部欠陥を生じやすい。ひずみ集中の緩和と、溶接時に始終端部を見やすい形状とすることを意図して形状を改良した固形エンドタブ（以降Y型と称す）がある。Y型と従来型（以降F型と称す）で施工した溶接継手の引張実験を実施した結果、Y型はF型以上の性能を示したと報告<sup>1,2)</sup>した。本研究は実大の柱梁接合部の試験体により、固形エンドタブの違いによる影響を確認する目的で行った実験結果について報告する。

## 2. 実験概要

## 2.1 試験体及び実験パラメータ

図1に試験体形状を示す。試験体は柱□-400×400×25、梁 H-400×200×12×22 (SM490A : Y.P=419N/mm<sup>2</sup>、T.S=536N/mm<sup>2</sup>) による柱梁接合部ノンスカラップ試験体とし、開先形状は35度のレ型開先、ルートギャップ7mmとした。

実験パラメータは、固形エンドタブの形状と溶接欠陥の有無の組合せである。Y型はダイアフラム側と表層側の接合部断面積を大きくする形状で、溶接時に溶接始終端部を見やすくすると共に、側面余盛を増すことひずみ集中を緩和することを意図した形状となっている。内部欠陥は厚さ3mmの鋼片を、固形エンドタブの余長を含む端部のダイアフラム側に挿入し、メタルタッチ部を不溶着とすることで製作した。溶接始終端部の溶込不良を想定した長さ22mm高さ5mmと、長さ7mm高さ25mmの組合せ4種類とした。Y7-22は鋼片を平行四辺形に製作し、エンドタブ形状に合わせて配置した。実験パラメータを表1に、鋼片の形状と位置を図2に、鋼片の取付け状況を写真1に示す。

## 2.2 溶接条件及び超音波探傷検査結果

溶接ワイヤはYGW18(Φ1.4)、シールドガ

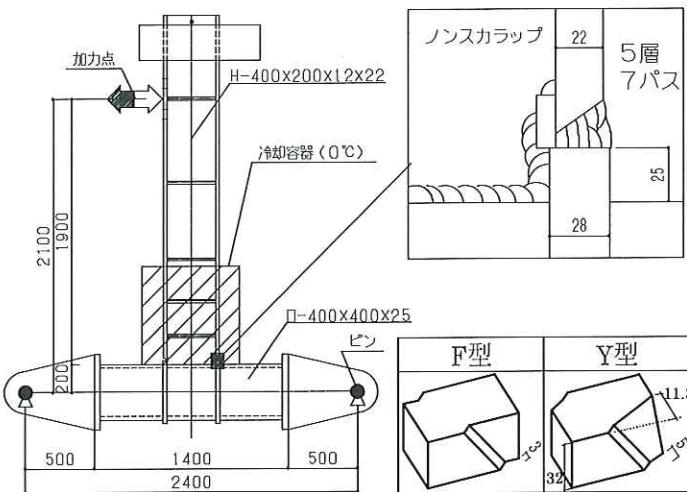


図1 試験体形状

表1 実験パラメータ

試験体名	固形タブ	欠陥寸法	
		長さ	高さ
F22-5	F型(在来)	22	5
F7-25	F型(在来)	7	25
Y22-5	Y型(改良)	22	5
Y7-25	Y型(改良)	7	25

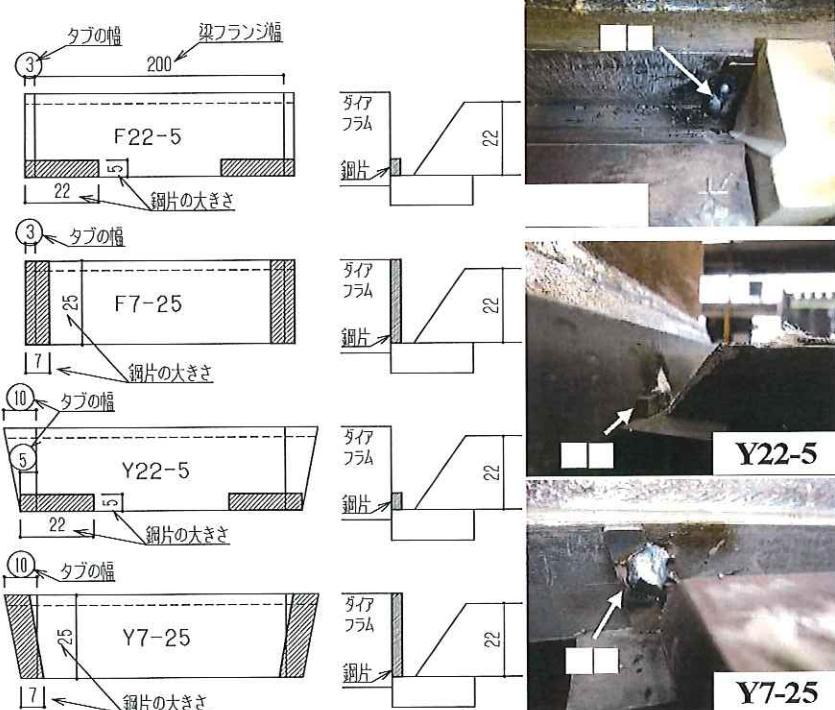


図2 欠陥位置と形状(斜線は鋼片を示す)

写真1 鋼片の取付け状況

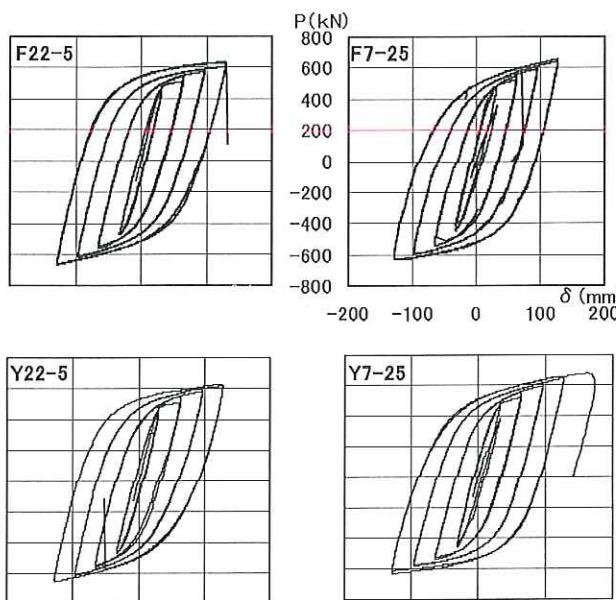


図3 荷重変形関係

スに炭酸ガスを用い、半自動アーク溶接により下向きで溶接した。溶接条件は一般的な条件とし、入熱は40kJ/cm以下、パス間温度350°C以下で施工した。

溶接部の検査は「鋼構造建築溶接部の超音波探傷検査規準・同解説」に従い規定探傷を実施した。探触子5C10×10A70を使用し、引張応力が作用する溶接部により判定を実施した。鋼片を挿入した全ての位置から欠陥を検出し、3継手が不合格となった。高さ25mmを挿入した試験体(7-25)ではY型、F型共にエコー高さの領域が低い。詳細は実験結果と合わせて表2に示す。

### 2.3 載荷方法

試験温度は0°Cとし、全塑性耐力時の曲げ変形量の2倍、4倍、6倍、8倍の変形を各2回繰返す載荷とした。冷却容器を試験体に直接取付け、接合部を0°Cに冷却した状態を30分以上保持した後に載荷を始め、載荷中も0°Cを保持した。

### 3 実験結果

荷重変形関係を図3に、実験結果を表2に示す。Y7-25は破断せず、その他は梁フランジ上面の溶接止端部より延性亀裂が進展し、最終的に脆性破面を伴い破断した。全ての試験体で $8c\delta_p$ 以上変形し、十分な性能を示した。挿入した欠陥を起点として破断しなかったため、挿入した欠陥の違いによる影響は確認できなかった。固形エンダタブの違いが破壊性状や変形性能に与える影響は確認

表2 実験結果一覧

試験 体名	Pmax (kN)	e δ max (mm)	δ s (mm)	η s	UT結果						側面 余盛 (mm)
					位置	領域	長さ	総和	合否		
F22-5	635	133	260	15.1	U	L	IV	10	20	○	5
	-666	-128	-188	13.1	R	III	10			×	7
F7-25	659	128	197	11.0	U	L	II	17	39	○	7
	-631	-128	-223	13.0	R	II	22			×	7
Y22-5	629	128	209	12.7	U	L	IV	15	26	○	14
	-656	-128	-181	10.7	R	II	11			×	13
Y7-25	680	174	226	14.1	U	L	III	30	50	×	10
	-631	-128	-259	16.4	R	III	20			×	11

Pmax:最大荷重、e δ max:最大変位、δ s:スケルン曲線の最大変位、η s:累積塑性変形倍率  
領域:エコー高さの領域、長さ:欠陥指示長さ(エコー高さがL線を越える範囲)

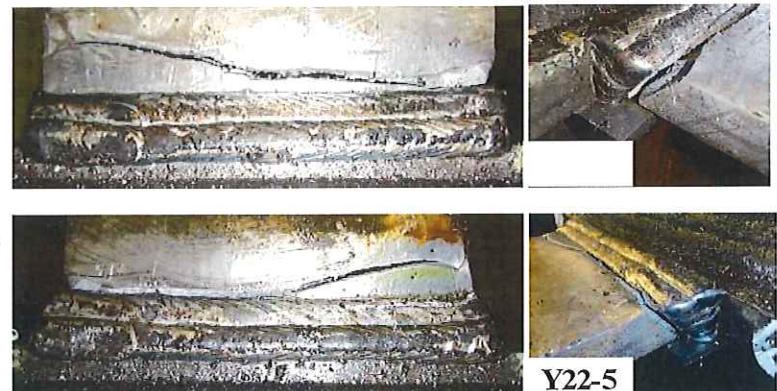


写真2 破壊状況写真

されなかつた。

### 4まとめ

柱梁接合部の梁フランジに溶接部方向の両端に欠陥を挿入し、欠陥を起点とした破壊現象を確認する目的で、試験温度0°Cで繰返し破壊実験を行った。欠陥を起点とした破壊現象を確認することができず、いずれも十分な変形性能を示した。その2では実験を終了した試験体の溶接部に内在する欠陥の寸法の確認試験と考察を報告する。

#### 【参考文献】

- 原 章, 中込忠男, 山田丈富, 的場耕, 村松亮介:形状の異なる固形エンダタブを用いた突き合わせ溶接継手の引張試験 その1実験計画概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2012年9月
- 村松亮介, 中込忠男, 山田丈富, 的場耕, 原 章:形状の異なる固形エンダタブを用いた突き合わせ溶接継手の引張試験 その2実験結果及び考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2012年9月

\*1スノウチ 技術開発部

\*2早稲田大学創造理工学部建築学科教授・工博

\*3角藤 鉄構事業部 博士(工学)

\*4アクトエイションハート 博士(工学)

\*5神奈川大学工学部建築学科 教授・工博

\*6中部鋼鉄 博士(工学)

Sunouchi Corporation, Technology Development Division  
Prof., School of Creative Science and Engineering Dept. of Architecture, WASEDA Univ., Dr. Eng.  
Kakuto Corporation, Steel Structure Division, Dr. Eng.  
Action-Creation-Heart Co., Ltd., Dr. Eng.  
Prof., Faculty of Engineering, Kanagawa Univ., Dr. Eng.  
Chubukohzan Corporation, Dr. Eng.

## 形状の異なる固形エンドタブを用いた柱梁接合部の破壊実験 その2 欠陥調査と考察

柱梁溶接接合部 固形エンドタブ  
端部欠陥 亀裂

変形性能  
低温試験

### 1. はじめに

その1で報告した実大試験体の接合部より、溶接部を切断し、内在する実欠陥の寸法を調査した。欠陥の寸法と超音波探傷試験（以降UTとする）の結果、および変形性能との関係について考察する。

### 2. 欠陥寸法の調査方法

破断位置が梁フランジ側であり、破断面では挿入した実欠陥の寸法を確認することが出来ない。そこで、Cスキャン（超音波映像処理）により欠陥寸法を調査した。実験を終了した試験体の上下フランジから、ダイアフラムと溶接部およびフランジを含む部位をブロック状に切断した後に、ダイアフラムを溶接部より5mmに機械加工で切削した。スキャン方向はダイアフラム側より行い、検出範囲は溶着金属側7mmまでとした。試験片を図1に示す。

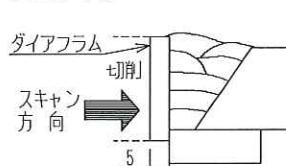


図1 Cスキャン試験片

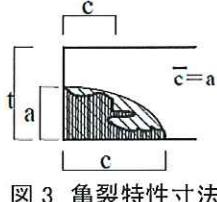


図3 亀裂特性寸法

正会員○的場 耕\*1 同 中込 忠男\*2 同 原 章\*3  
同 笠原 基弘\*4 同 岩田 衛\*5 同 村山 敬司\*6

### 3. 実験結果

#### 3.1 Cスキャン試験結果

Cスキャンにより得られた画像を図2に示す。画像から読み取った測定結果を表1に示す。画像の白い部分が欠陥を示す。想定した欠陥の寸法より小さい傾向にあるが、端部に欠陥が内在していたことが確認できた。画像の下

表1 Cスキャン測定結果他一覧

検査箇所	側	Cスキャン結果(mm)					亀裂特性寸法(mm)			欠損面積率	
		高さ		長さ			深さ a	半長 c	$\frac{c}{a}$	UT	Cスキャンの 椿円
		余盛	幅内	余盛	幅内	合計					
F22-5	U	L	5.5	6.0	5	35	40	6.0	40	8.8	1.1% 4.0%
		R	2.0	4.0	7	21	28	4.0	28	5.3	1.1% 1.9%
	L	L	6.5	6.5	6	25	31	6.5	31	9.0	2.2% 3.3%
		R	2.5	3.5	9	20	29	3.5	29	4.6	1.4% 1.7%
F7-25	U	L	18.0	4.0	7	44	51	18.0	20	11.1	1.4% 6.0%
		R	15.0	14.0	7	6	13	15.0	11	5.1	1.9% 2.8%
	L	L	19.0	17.0	5	45	50	19.0	20	10.8	2.1% 6.5%
		R	15.0	14.5	5	25	30	15.0	13	6.5	2.0% 3.3%
Y22-5	U	L	6.0	7.0	14	23	37	7.0	37	10.4	1.5% 4.1%
		R	2.0	6.0	4	11	15	6.0	15	6.2	0.9% 1.4%
	L	L	7.0	6.0	10	38	48	7.0	48	11.2	3.1% 5.4%
		R	7.0	7.0	11	22	33	7.0	33	10.0	2.1% 3.7%
Y7-25	U	L	15.0	3.0	11	18	29	15.0	16	8.6	1.1% 3.8%
		R	13.0	7.0	12	4	16	13.0	15	8.1	0.7% 3.1%
	L	L	17.0	13.0	11	33	44	17.0	23	13.5	1.3% 6.3%
		R	11.0	12.0	9	8	17	12.0	14	7.5	0.6% 2.7%

亀裂特性寸法:cは深さa, 半長cより求める(図3参照), aはCスキャンの高さ最大値

欠損面積率:欠陥面積/側面余盛を含む溶接断面

欠陥面積:UTは領域から想定した高さ×指示長さ, Cスキャンの椿円は $\pi ac/4$

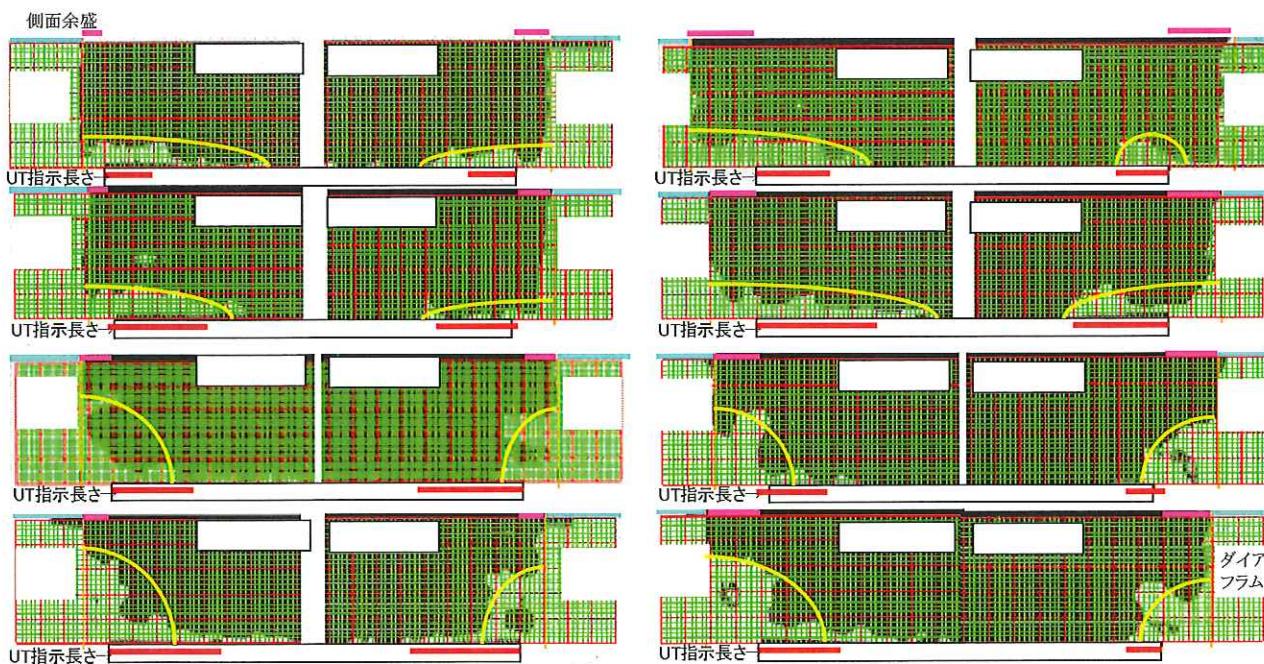


図2 Cスキャン結果

側に UT の指示長さを示したが、長さ方向については欠陥を概ね評価できていることがわかる。

### 3.2 欠陥の寸法評価

欠陥と変形性能の関係は文献 1, 2 で報告あるように、欠陥の長さに比べ高さの方が変形性能に影響する。欠陥の寸法と変形性能の関係を考察するために、様々な大きさの欠陥寸法を WES2805<sup>3)</sup>の亀裂特性寸法 (c) を算出し評価した。22-5 シリーズは C スキャンの測定結果を用いるが、欠陥高さの大きい 7-25 シリーズについて C スキャンの結果をそのまま採用すると欠陥を大きく評価することになる。7-25 シリーズの欠陥長さは欠陥高さ 2 mm 以上となる範囲で c を算出した。算出方法を図 3 に、欠陥を橋円として求めた欠損面積率と合わせ表 1 に示す。

### 4. 考察

Y 型は F 型に比べ側面余盛が大きく、欠陥を内在する可能性もあるが UT で検出は難しい。欠陥を過小に評価する規定探傷で合格となり側面余盛に欠陥を有する試験体でも破断に至らなかった。C スキャンと UT の比較を図 4 に示す。なお、UT による欠陥の高さは領域 II を 4 mm、III・IV を 5 mm として評価し、長さの合計は UT の指示長さと側面余盛の合計である。UT の指示長さは C スキャン長さと相關あるが、高さの相関は無い。規定探傷では欠陥の高さの評価が難しいといえる。一般的な溶接施工において 6 mm 以上の欠陥は想定されず、規定探傷では高さを 5 mm 程度として指示長さによる判定をしている。

累積塑性変形倍率と亀裂特性寸法および欠損面積率との関係を文献 1 の結

果と合わせて図 5、図 6 に示す。欠陥から破断した文献 1 に比べ、本実験は欠陥が比較的小小さく、破断に至らなかつたと推測できる。また、高さが小さく長さが大きい欠陥の評価は、欠損面積率と亀裂特性寸法で異なる。

### 5. まとめ

UT で欠陥の高さの評価は難しく、長さは近い値であった。欠陥の位置が初層側で応力状態が安全側となる条件下で、溶接部の管理を適正に行った場合は、学会の UT 規準の判定値より大きな欠陥を内在しても破断に至らなかつたことを確認した。

**[謝辞]** 本研究は(社)日本溶接協会ロボット溶接研究委員会厚板向けの最適ロボット溶接施工技術開発プロジェクトの研究活動の一環として行われたものである。

#### 【参考文献】

- 1) 中込忠男, 服部和徳, 市川祐一, 的場耕, 岩田衛: 欠陥を有する柱梁接合部の変形能力に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集 第 556 号, 2002 年 6 月
- 2) 建築鉄骨梁端溶接部の超音波探傷検査指針, (社)日本鋼構造協会, 2008 年 1 月
- 3) 溶接継手のぜい性破壊発生及び疲労亀裂進展に対する欠陥の評価方法, (社)日本溶接協会, 2011 年 10 月

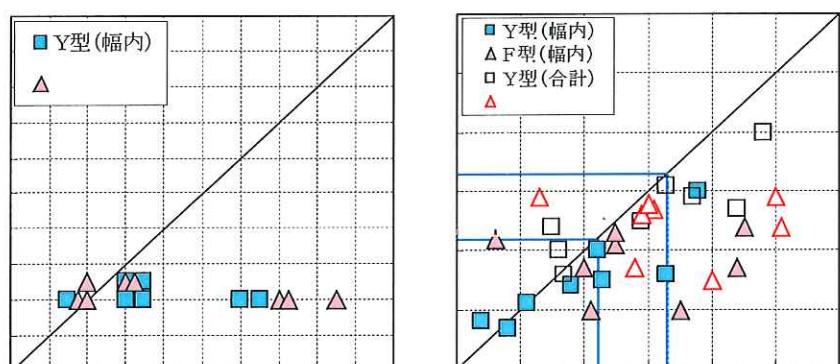


図 4 UT と C スキャン結果の比較

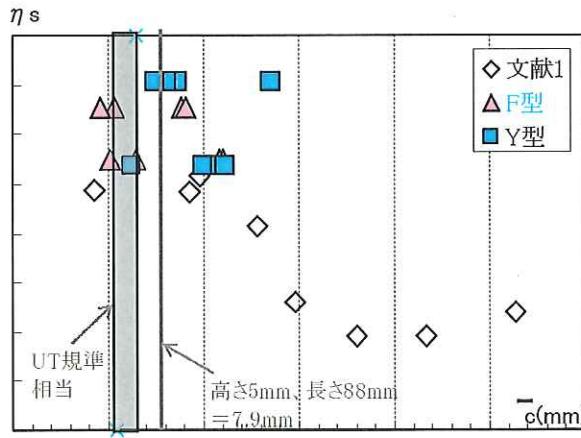


図 5 累積塑性変形倍率と亀裂特性寸法の関係

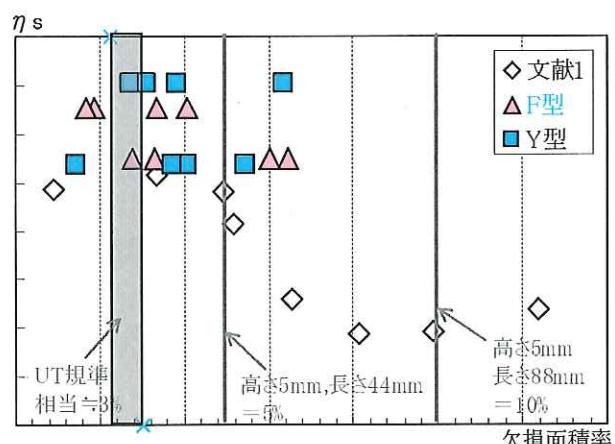


図 6 累積塑性変形倍率と欠損面積率の関係

\*1 角藤 鉄構事業部 博士(工学)

\*2 早稲田大学創造理工学部建築学科教授・工博

\*3 スノウチ 技術開発部

\*4 アクトエイションハート 博士(工学)

\*5 神奈川大学工学部建築学科 教授・工博

\*6 中部鋼板 博士(工学)

Kakuto Corporation, Steel Structure Division, Dr. Eng.

Prof., School of Creative Science and Engineering Dept. of Architecture, WASEDA Univ., Dr. Eng.

Sunouchi Corporation, Technology Development Division

Action-Creation-Heart Co., Ltd Dr. Eng.

Prof., Faculty of Engineering, Kanagawa Univ., Dr. Eng.

Chubukohan Corporation, Dr. Eng.