

Design and Fabrication of Low Yield Strength Steel Tube Brace Damper



佐藤 勝則
Katsunori Sato
橋梁・鉄構事業部 鉄
構部 主任部員(掛長)



藤澤 一善
Kazuyoshi Fujisawa
建材センター 技術部
建築室 主査(課長)



梅宮 良之
Yoshiyuki Umemiya
川鉄エンジニアリング
(株) 第2建築技術部
構造設計室 主査(課
長)

要旨

JA アグリスは知多半島の二市三町の行政単位を越えた広域合併により誕生した知多農業協同組合の拠点施設である。JA アグリスの構造計画にあたっては、兵庫県南部地震の建物被害を教訓とし、さらに建築基準法の性能規定化への流れを受け、広域農業情報管理施設という建物の機能保全の目的から、耐震安全性を第一義に設計クライテリアを設定し、その実現のため川崎製鉄・川鉄建材(株)が共同で開発した極軟鋼二重鋼管ブレースを使用した制振構法を採用した。極軟鋼二重鋼管ブレースは降伏耐力が 100 N/mm^2 程度の極軟鋼管「RF100-S」を使用した座屈拘束ブレースであり、安定した履歴挙動により高い制振効果を発揮する。また、接合部に鍛造クレビスを用いたピン接合を採用することで、意匠性を確保しながら高い現場施工性も実現した。

Synopsis:

JA Agris is the base facility of the Chita Agriculture Cooperation Union, which widely combines the administration units of two cities and three towns in Chita Peninsula. In the structural planning of JA Agris, design, in criteria that the safety for earthquake was a primary, was set to maintain the function of wide agricultural information management facility, considering the building damages of Hyogo-ken Nanbu Earthquake and the conversion to the performance-based regulations of the Building Standards Act. For the accomplishment of the design criteria, a steel tube brace damper which was developed in cooperation with Kawasaki Steel Metal Products & Engineering Corp. was adopted. The damper consists of an inner tube and an outer tube. The inner tube is a low yield strength steel tube (called "RF100-S") of which the yield strength is about 100 N/mm^2 , and it is an axial force member. The outer tube is a member to prevent buckling of the inner tube. The damper has a stable hysteretic behavior, and it gives a high damping effect. And, not only the design was ensured, but also high workability in the construction site was realized by adopting pin joints using a high-strength forged clevis.

1 はじめに

知多農業協同組合の施設である、JA アグリ地域農業総合支援センター広域農業情報管理施設「JA アグリ」は、拠点施設としての立場から、震災時建物機能保全を目的とした、高い耐震安全性が求められており、そのため、超高層建築物で近年積極的に採用されている制振構法を本格的に使用することとなった。

その背景としては、1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震では、多くの中低層建築物が倒壊や再使用不能な被害を受け、建築物の耐震安全性が改めて重要視されるようになった。さらに、1998年6月には建築基準法の改正により、性能規定化など建築基準体系の見直しが進められ、建築物の性能が建築主の重要関心事項になってきた。

制振構法用ダンパーとしてこれまで数多くの製品が開発されているが、本建築物では低コストで優れた履歴特性を有する極軟鋼二重鋼管ブレースを採用した。極軟鋼二重鋼管ブレースは、川崎製鉄と川鉄建材(株)が共同で開発した制振ダンパーであり¹⁻⁵⁾、神戸市における大規模建築物(延べ床面積 1 万 m^2 以上)での震災復興第一号となった川崎製鉄神戸本社ビル⁶⁾や、大規模耐震改修建築物である静岡県庁東館⁷⁾での採用をはじめとして、超高層建築物への採用も予定されている⁸⁾。また、端部接合形式として高力ボルト摩擦接合による剛接合形式に加え、鍛造クレビスによるピン接合形式も選択できることから、ダンパーおよび接合部が露出するJA アグリ(Photo 1)ではその意匠性もダンパー選定の主要因である。

本論文では、JA アグリスの構造計画と制振構法採用による耐震性の向上について述べるとともに、特に極軟鋼二重鋼管ブレースの工場製作および現場施工についてその特徴をまとめる。

* 平成12年3月7日原稿受付



Photo 1 Outside view of JA Agris

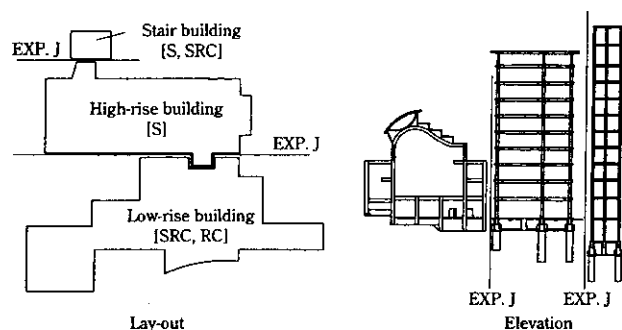


Fig. 1 Lay-out and elevation

2 建物概要

2.1 計画概要

計画地は知多半島の中央部のなだらかな丘陵地に位置し、温暖な気象条件から常緑樹が多く混在する林相となっている。この自然環境を保全し、かつ活用するための計画となっている。

JA アグリは、Fig. 1 に示すように、事務所機能がある高層棟、階段棟、および食堂がある低層棟の3棟で構成されている。高層棟では極軟鋼二重鋼管ブレースが採用された。

Fig. 2 の構造概要軸組図に示すように、極軟鋼二重鋼管ブレースは事務所ビルの平面計画を考慮して建物の外周部に、また、柱に引抜き力が生じないように、軸組面のほぼ中央に極軟鋼ブレースを配置した。

2.2 建物概要

建物名称	(仮称)JA アグリ地域農業総合支援センター
主要用途	事務所
建設場所	愛知県常滑市多屋字茨廻間 1-111 外 58 筆
建築主	知多農業協同組合
設計監理	(株)三橋建築設計事務所 (名古屋事務所)
施工者	清水建設(株)
施工期間	1998 年 8 月から 1999 年 10 月
地区地域	市街化調整区域 (防火無指 準耐火構造ロ-2) (定)

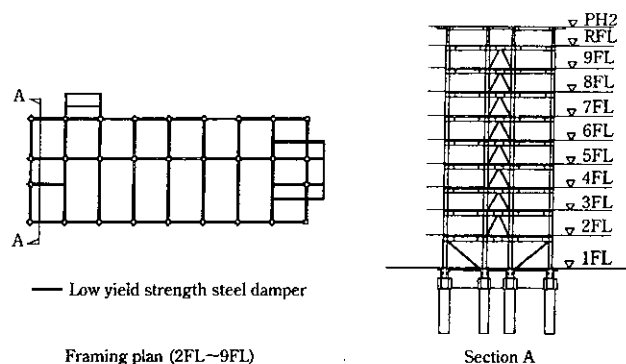


Fig. 2 Framing plan and section

敷地面積	51 446.38 m ²
建築面積	2 947.05 m ²
延床面積	13 473.09 m ²
階数	地下 1 階、地上 8 階、塔屋 2 階
軒高	GL + 37.150 m
建物の高さ	GL + 41.050 m
最高高さ	GL + 48.200 m
基準階の階高	4 150 mm
地盤の高さ	GL 標高 42.300 m (高層棟構造基準 GL) 平均 GL 標高 44.100 m (基準法上の平均 GL)
構造種別	高層棟 充填型鋼管コンクリート (CFT) 造 + 極軟鋼二重鋼管ブレース 低層棟 鉄筋コンクリート造
使用鋼材	制振ブレース 極軟鋼 RIVER FLEX100-S 柱はり接合部 建築構造用圧延鋼材 SN490C 柱 一般構造用角形鋼管 STKR490 梁 建築構造用圧延鋼材 SN490B
基礎構造	杭 場所打ちコンクリート杭 (アースドリル工法) 支持層 固結シルト (常滑層)

3 耐震設計

3.1 耐震設計クライテリア

JA アグリは構造設計は、施工側の要求する、耐震性能の確認から始まった。広域農業情報管理施設という建物の機能から安全性と建物の保全を目的とし、入力地震動の強さに応じて、次のような耐震設計クライテリアを設定した。

- (1) 建物の耐用年限中に数度は遭遇する強さの地震 (レベル 1 地震) に対しては、極軟鋼二重鋼管ブレースを除く主架構の部材の応力は弾性域に留め、許容応力度設計を行った。
- (2) 予想し得る大地震 (レベル 2 地震) に対しては、架構に多少の損傷が生じても最終的な崩壊には至らず、人命の安全を確保する。この規模の地震に対しては、十分な靱性を有する崩壊形となるように部材の設計クライテリアを設定して終局強度設計を行った (Table 1)。

これは通常、防災拠点などに適用されるクライテリアである。JA アグリのような 10 階前後の建物では、超高層建築物ほど 1 次固有周期が長くないため、このようなクライテリアを設定することは、構造部材的にかなり困難であるが、極軟鋼二重鋼管ブレースを用い

Table 1 Criteria design

Load case	Maximum response	
	Story drift angle	Plastic ratio
Wind load	$\leq 1/200$	All member's stress shall not exceed F_y
Seismic load (Level 1)	$\leq 1/200$	Frame member's stress shall not exceed F_y Damper's stress may exceed F_y
Seismic load (Level 2)	$\leq 1/100$ ($\leq 1/120$ At the center of gravity)	Story plastic ratio ≤ 2.0 Member plastic ratio ≤ 4.0

Table 2 Specification of RF100-S

Grade	Y. S. (N/mm ²)	T. S. (N/mm ²)	El. (%)
RF100-S	70~120	200~280	≥ 50

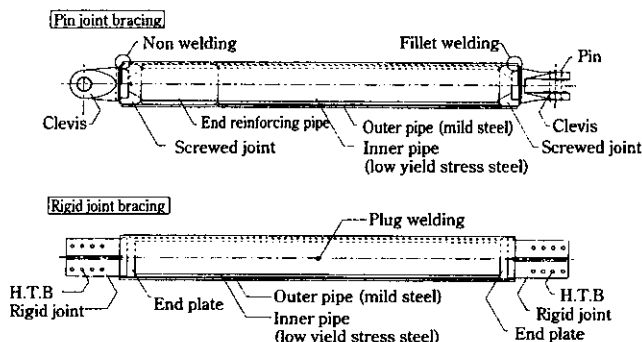


Fig. 3 Double tube type low yield stress steel damper

ることで可能となった。

許容応力度設計における設計用層せん断力は、建築基準法の A1 分布に従って定めた。ここで、固有周期は、主架構のみの場合の固有値解析により求めた値を用いた。主架構のみの場合の固有周期は、X 方向 $T_{x1} = 1.16$ s, Y 方向 $T_{y1} = 0.96$ s であり、設計用層せん断力の算定にあたっては、XY 方向ともに $T_1 = 0.96$ s を用いた。また、標準せん断力係数 C_0 は X 方向、Y 方向ともに、 $C_0 = 0.2$ とした。

3.2 極軟鋼二重鋼管ブレース

極軟鋼二重管ブレースは、圧縮時の全体座屈を防止することで安定した履歴挙動を発揮するように工夫した二重管形式の座屈拘束ブレースに、降伏耐力レベルが 100 N/mm^2 の極軟鋼管 RF100-S を組み合わせることで、中小地震から大地震まで有効に機能する制振構法用ダンパーである。

Table 2 に RF100-S の機械的性質を示す。RF100-S は降伏耐力が $70 \sim 120 \text{ N/mm}^2$ の狭レンジで製造管理されているシームレス鋼管であり、同様な目的のために各社で開発されている極軟鋼板と同等な性能を有している。

次に、Fig. 3 に極軟鋼二重鋼管ブレースの概要を示す。極軟鋼二重鋼管ブレースは、軸力を伝達する内管に RF100-S を用い、その外側に曲げ抵抗により内管の全体座屈を防止する STK400 などの普通鋼管を配した座屈拘束ブレースであり、柱や梁などの本体鉄骨との接合方法により、(1) コスト重視の高力ボルト摩擦接合による剛接合形式、2) 意匠性重視の鍛造クレビスによるピン接合形式の 2 種

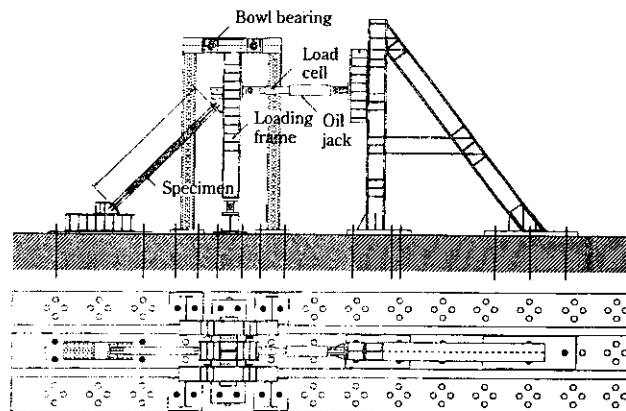


Fig. 4 Test loading frame

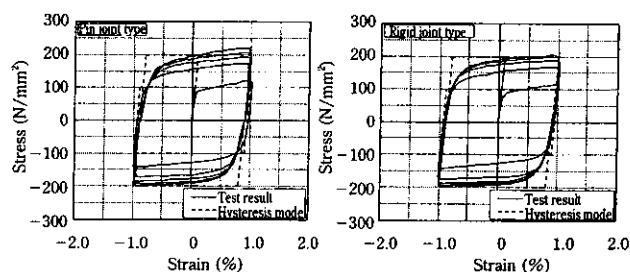


Fig. 5 Stress-strain curves

類が用意されている。JA アグリでは地下階には剛接合形式を、また人目に触れる地上階にはピン接合形式を使用した。

極軟鋼二重鋼管ブレースの座屈拘束性能や接合部設計法、ならびに疲労特性などは文献¹⁻⁹⁾に詳述されているので、ここでは一例を紹介する。Fig. 4 に示すような、試験体に軸力と曲げ変形が作用するように工夫した試験装置を用いて正負交番繰返し荷重を与えた極軟鋼二重鋼管ブレースの荷重-変形関係を Fig. 5 に示す。使用した極軟鋼管は $\phi 114.3 \times 5.5$ であり、外管や接合部は既往の知見により適切に設計されている。

本試験結果より、適切に設計された極軟鋼二重鋼管ブレースでは圧縮・引張とも安定した履歴特性を示すことがわかる。また、図中点線で 100 N/mm^2 および 200 N/mm^2 を降伏耐力と仮定したバイリニアの復元力モデルを示しているが、建物の層間変形角 $1/100$ レベルで想定されるブレースの最大歪 $\pm 1\%$ の範囲では、これら二つの復元力モデルを設定し応答解析を行うことで、建物の応答値を想定できるものと考えられる。

3.3 地震応答解析

3.3.1 地震応答解析

最大速度振幅は、レベル 1 地震に対して 25 cm/s 、レベル 2 地震に対して 50 cm/s とする。地震応答解析に用いる地震波名および最大速度振幅に対応する最大加速度振幅を Table 3 に示す。

また、極軟鋼二重鋼管ブレースの効果を推定するため、兵庫県南部地震の際に記録された地震波形 Kobe (JMA) 1995 NS を用いて、極軟鋼二重鋼管ブレースの有無による応答結果の比較を行った。Kobe (JMA) の記録はレベル 3 ($80 \sim 90 \text{ cm/s}$) に相当する。

解析モデルは Fig. 6 に示す様な質点系モデルであり、フレーム部は曲げせん断型モデル、極軟鋼二重鋼管ブレースはせん断型モデル

Table 3 Maximum acceleration and analysis time

Wave name	Maximum acceleration (cm/s ²)		Analysis time (s)
	Level 1 (25 kine)	Level 2 (50 kine)	
EL Centro 1940 NS	255	510	53.76
Taft 1952 EW	249	498	54.40
Hachinohe 1968 NS	165	330	36.00
Nagoya 306 1963 NS	117	233	14.98
Kobe 1995 NS	—	818 (actual)	146.80

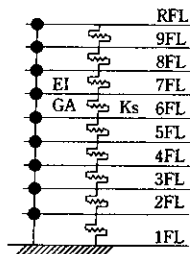


Fig. 6 Framing model

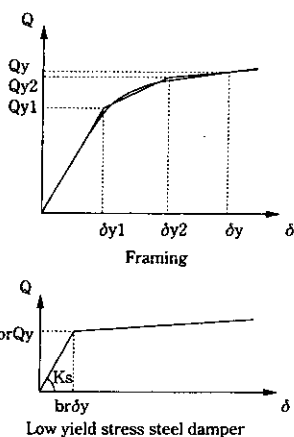


Fig. 7 Hysteresis characteristics

ルとして並列した。

フレームの復元力特性は荷重増分法により Tri-Linear 型にモデル化し、極軟鋼二重鋼管ブレースは完全弾塑性型とした。フレームの減衰定数は等価粘性減衰とし振動数比例型 ($h_1 = 0.02$) とした。Fig. 7 に復元力特性を示す。

3.3.2 応答解析結果

入力地震波形 Kobe (JMA) 1995 NS による応答解析結果を、極軟鋼二重鋼管ブレースのないものと比較して、層間変形角、層せん断力、主架構の層の塑性率を、それぞれ Fig. 8~10 に示す。

Fig. 8 の層間変形角では、極軟鋼二重鋼管ブレースを用いた場合、応答が大幅に改善され、レベル 3 の入力に対しても、層間変形角に対するクライテリア 1/100 を満足する。

Fig. 9 の層せん断力では、違いはそれほど大きくないが、わずかに、極軟鋼二重鋼管ブレースを用いた場合のほうが、小さくなっている。

Fig. 10 の主架構の層の塑性率では、極軟鋼二重鋼管ブレースを用いた場合には、塑性率は 1 以下で、主架構をほぼ弾性状態に保て

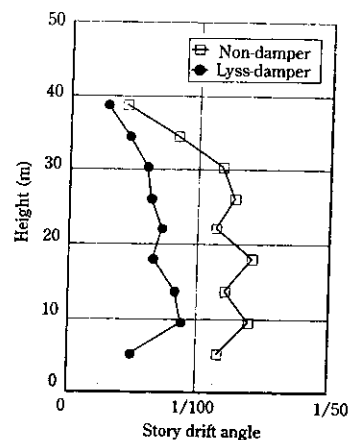


Fig. 8 Comparison of story drift angle with and without damper

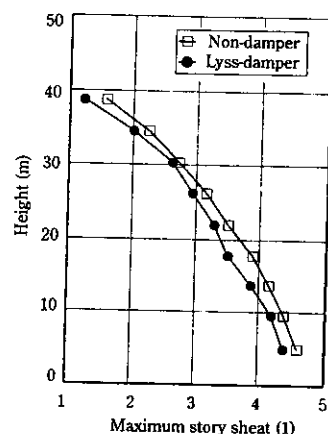


Fig. 9 Comparison of maximum story shear with and without damper

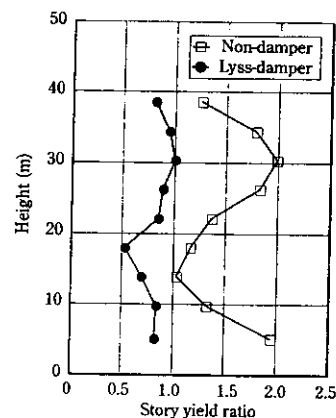


Fig. 10 Comparison of story yield ratio with and without damper

る結果となっている。

3.3.3 極軟鋼二重鋼管ブレースの効果

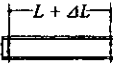
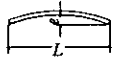
このように、防災拠点に求められるような厳しい耐震クライテリアを、極軟鋼二重鋼管ブレースを用いることで満足できた。

また、極軟鋼二重鋼管ブレースの塑性ひずみダンパーとしての性能として、見かけ上の減衰定数を Table 4 に示す。EL CENTRO 1940 NS の場合、F1~F3 で最大 25% 程度となっている。

Table 4 Damping constant for the low yield strength steel damper

Cycle	1F	2F	3F
+1	0.0	0.0	0.0
-1	0.0	1.7	2.9
+2	7.4	7.2	0.0
-2	21.2	25.8	0.1
+3	23.8	25.9	21.0
-3	25.1	24.9	26.2
+4	24.4	24.8	23.1
-4	26.0	24.8	26.4
+5	24.4	24.9	24.8
-5	8.5	23.6	25.6
+6	0.2	0.0	25.0
-6	0.0	0.0	24.4
+7	0.0	0.0	1.8
-7	0.1	0.0	0.2
+8	3.9	0.0	2.4
-8	0.0	4.0	0.5

Table 5 Recommendation for quality criteria and inspection standards of steel structures

	Figure	Permissible
Length of beam		$-3 \text{ mm} \leq \Delta L \leq +3 \text{ mm}$
Curve of beam		$e \leq \frac{L}{1000}$ and $e \leq 10 \text{ mm}$

4 施 工

4.1 極軟鋼二重鋼管ブレースの製作

ブレースの建方を容易にするため、次のようなブレース調整機能を施した。

- (1) 両端ピン接合タイプのブレースについては、クレビスと口金とをネジ接合とし、さらに、両端ネジを逆ネジとすることによって、鋼管を回転させ、部材長を調整できるようにしている。
- (2) 両端ボルト接合タイプのブレースについては、スブライスプレート形式とすることにより、ボルト孔クリアランスの累計により調整できるようにしている。

上記により、ブレースの加工精度は JASS 6 における鉄骨精度検査基準の管理許容差 (Table 5) を採用することが可能となった。また、ピン接合タイプのクレビスは鍛造後機械仕上げおよび口金についても機械仕上げを施すことによりピン間寸法精度をさらに高めた。

ブレース製作は Fig. 11 に示すフローで製作される。

製作において、ブレースの大曲を防止するため、ブレース組立て用治具を製作し、治具長にてエンドプレートや接合プレート、あるいは口金や補強管と極軟鋼管を組立し、本溶接を行った。

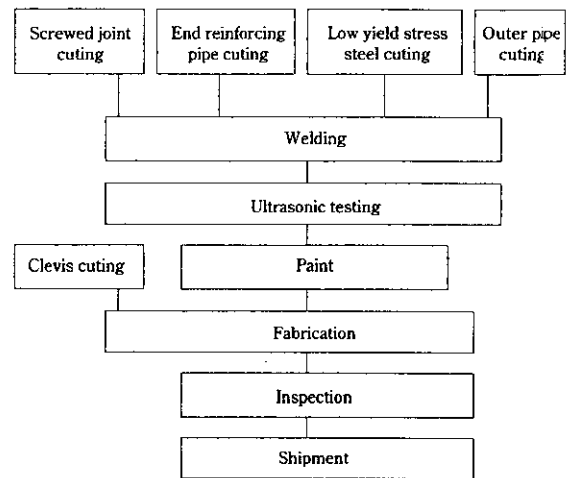


Fig. 11 Flowchart of fabrication

また、現場取り付け精度確保のため、製品の寸法検査データを基に、ブレースの長さの誤差と本体鉄骨のガセット孔位置誤差との累積誤差が許容以内であることを確認した後、出荷した。

溶接については、AW 試験合格者を従事させると共に溶接完了後、全数、超音波探傷検査、外観検査を行い、溶接品質の確保を図った。

4.2 現場施工

建方は積層工法が取られたことにより、各フロアー (12 台) ごと約 2 週間ピッチで総数 96 本を現場搬入した。

ブレースはトラックよりナイロンスリングを使用し、ていねいに荷おろしを行った後、建方を行った。ブレースの揚重は、今回、(1) 鉄骨本体先組み (ブレース後付け) の場合は、ナイロンスリングをブレース本体に締め付け揚重し取り付ける方法、(2) 受け大梁と同時に取り付け可能な場合は、地上にて、大梁とブレースを地組みし、本体を取り付ける方法の 2 つの方法を取った。

現場取り付けの特徴として、ピンタイプは $\pm 10 \text{ mm}$ の範囲で材長調整可能なことと、取合いが、1 本の取り付けピンおよびピン止め中ボルトで行うため、取り付けは非常に容易であり、スブライスタイプにくらべ作業性は優れている。

5 おわりに

JA アグリでは、極軟鋼二重鋼管ブレースを用いた制振構法を採用することで高い耐震安全性を実現した。また、鍛造クレビスを用いたピン接合タイプのブレースの採用により、優れた意匠性を確保しつつ、現場施工も容易に行うことができた。

川崎製鉄では本論文で述べた極軟鋼二重鋼管ブレースの他に、極軟鋼板を用いた制振パネルも開発している。また、二重鋼管ブレースについては STKN400 などの普通鋼管を使用した強度型座屈拘束ブレースの商品化も行っている。今後も客先ニーズを取り込む形で製品レパートリーの拡充に努めていく。

参 考 文 献

- 1) 清水孝憲、藤澤一善、今井克彦、安井信行、井ノ上一博、中山信雄、相沢 寛：「極軟鋼を用いた制振ブレースの履歴特性について」、日本建築学会大会学術講演梗概集、(1995)、401-404
- 2) 清水孝憲、藤澤一善、今井克彦、安井信行、中山信雄、田淵勝道、金子洋文：「極軟鋼を用いた制振ブレースの低サイクル疲労実験」、日本

- 建築学会大会学術講演梗概集, (1996), 761-762
- 3) 清水孝憲, 藤澤一善, 上村健二, 井上一郎:「極軟鋼管ブレースの接合部を含む座屈拘束設計法」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (1997), 781-784
 - 4) 藤澤一善, 山本健一, 今井克彦:「制震用極軟鋼管」, 川崎製鉄技報, 29(1997)2, 123-125
 - 5) 藤澤一善, 清水孝憲, 上村健二:「極軟鋼を用いた制震ダンパーの構造性能」, 川崎製鉄技報, 30(1998)1, 1-6
 - 6) 堀畑潤一, 森田昌敏, 梅宮良之:「神戸本社ビル再建に用いられた川崎製鉄の耐震技術」, 川崎製鉄技報, 30(1998)1, 27-32
 - 7) (財)日本建築防災協会:「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修事例集」, (1997), 138-148
 - 8) 日本建築センター:「ビルディングレター '99.7」, (1999), 41-42