

極低降伏点鋼，低降伏点鋼を使用した制震技術の開発

Seismic Control Devices Using Low-Yield-Point Steel

山口 種 美⁽¹⁾ 中 田 安 洋⁽²⁾ 竹 内 徹⁽²⁾ 池 辺 卓⁽³⁾
 Tanemi YAMAGUCHI Yasuhiro NAKATA Toru TAKEUCHI Takumi IKEBE
 長 尾 年 通⁽⁴⁾ 南 晃⁽⁵⁾ 鈴 木 孝 彦⁽⁶⁾
 Toshimichi NAGAO Akira MINAMI Takahiko SUZUKI

抄 録

近年，建築物の耐震性能の明確化を求める社会的なニーズの高まりとともに，制震構造がこれに応える耐震設計技術として注目されてきた。鋼材の履歴エネルギー吸収を利用した制震構造の開発を目的として，制震デバイス用の新鋼材開発と，この鋼材を使用した制震デバイスの性能及び代表的な実施例を示した。制震デバイス用鋼材に要求される鋼材の性能を検討し，従来の鋼材に比較して低い降伏点(YP)と狭レンジのYP及び優れた伸び能力を有する鋼材，LYP100(YP=100N/mm²級)及びLYP235(YP=235N/mm²級)の2種類の新鋼材の開発を行い，それぞれの材料特性を調査した。これら新鋼材について履歴特性，歪み速度依存性，低サイクル疲労特性及び溶接性等，制震デバイスの特性に関係する素材特性の試験結果を示した。次に，この鋼材を使用した制震デバイスとして，アンボンドブレース，制震壁，制震パネルの開発概要と，それぞれのデバイスの構造特性を示した。最後にこれらのデバイスを使用した代表的な実設計例を紹介し，LYP鋼を使用した制震デバイスの制震効果を示した。

Abstract

With the recent growing social needs which demand the clarification of aseismic performances of buildings, seismic control structures attract attention as a design technology to meet such needs. This paper, with the purpose of developing seismic control structures which utilize hysteresis energy absorption of steel products, explains the development of new steel products for seismic control devices and shows the performances and typical applications where such devices have been put to actual use. The authors investigated the properties required of steels for seismic control devices, developed two kinds of steel, namely, LYP100 (YP=100N/mm²-class) and LYP235 (YP=235N/mm²-class), which have lower and narrower-range yield points (YP) and better elongation than conventional steels, and discuss their material properties. The authors also show the test results of the material properties of the new steels which relate to seismic control devices such as hysteresis characteristics, strain rate dependency, low-cycle fatigue characteristics and weldability. They then give an outline of the development of unbonded braces and seismic control walls and panels as examples of seismic control devices using the new steels, as well as the structural characteristics of each device. Finally, they introduce typical examples of actual designs which use these devices, demonstrating the seismic control effects of the devices using LYP steels.

1. 緒 言

従来の建築物の耐震設計法は，建物の柱や梁の塑性変形による地震エネルギー吸収で耐震性能を確保してきた。しかし，兵庫県南部地震被害で問題となったように，柱梁等の主要な構造部材を变形，塑性化させる従来の耐震設計手法(図1(a)参照)では，被災後の補修が非常に困難であり，実質的に建築財産の保全ができないことが問題として指摘された。また，建物の重要度レベルに対応した耐震性能の制御も，現状の設計技術ではむずかしい。この問題の解決方法として，建物に制震デバイスを組み込んだ“制震構造(図1(b)参

照)”が注目されている。制震構造とは，制震デバイスに地震エネルギーを吸収させることで耐震性能の確保を図るもので，従来の耐震設計技術ではあいまいとなっていたエネルギー吸収部材の特定化と，その性能の明確化により，地震被害制御が可能となる。また，被害部位が特定化されることで，補修への対応も容易となる。

このように，制震構造は今後の耐震設計技術の鍵となる技術と期待されている。新日本製鐵は他社に先駆けて鋼材の履歴エネルギー吸収による制震構造及びこれに適用する新鋼材の研究を実施し，約10年にわたる取り組みの成果として，制震デバイス用の新鋼材及び

*⁽¹⁾ 建材開発技術部 グルーブリーダー
 東京都千代田区大手町2-6-3 ☎100-8071 ☎03-3275-7772

*⁽²⁾ 建築事業部 建築鉄構部 マネジャー

*⁽³⁾ 厚板営業部 マネジャー

*⁽⁴⁾ 名古屋製鐵所 厚板工場 マネジャー

*⁽⁵⁾ 君津製鐵所 厚板工場 マネジャー

*⁽⁶⁾ 鉄鋼研究所 鋼構造研究開発センター 主任研究員

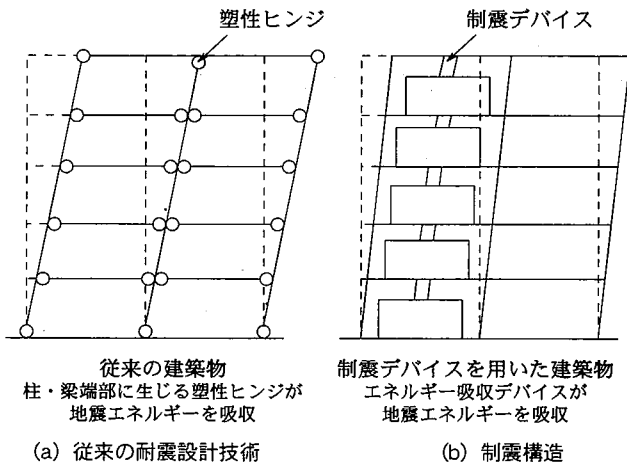


図1 耐震設計法の比較

これを使用した制震デバイスを開発した。さらに新鋼材を使用した制震構造を主要ユーザーとの共同研究に発展させ、1998年の時点で40件を超える超高層ビルへの適用実績を有する。

本報では、制震デバイス用として開発した極低降伏点鋼及び低降伏点鋼、及びこの鋼材を使用した制震技術開発の成果を述べる。

2. 極低降伏点鋼(BT-LYP100)、低降伏点鋼(BT-LYP235)の開発

2.1 制震デバイス用鋼材としての要求性能

履歴エネルギー吸収型制震デバイスに使用する鋼材が有すべき性能は、構造設計面からは次のようになる。まず、地震入力に対してパッシブ型の制震デバイスであることから、地震時に他の柱梁等の構造部材に先行して、かつ設計で狙った応力レベルで塑性化させることは、普通鋼でも形状や設計方法の工夫によって可能ではあるが、他の構造部材に比べて降伏耐力及び引張強さが明確に低い特性を持った鋼材を使用することで容易に達成される。

このため、まず降伏強さが低いこと、降伏点(YP)のばらつきができる限り狭い範囲に収まっていること(狭YP)が要求される。また、大地震時にデバイスは、塑性域にわたる大きな繰返し変形を受けることになり、優れた伸び性能と低サイクル疲労特性が必要となる。また、建築用として必要な加工性、溶接性も要求される。制震デバイス用の鋼材仕様については、塑性域にわたる使用を意図しているため、従来の鋼材の規格規定方法を踏襲することが妥当かどうかの問題もあり、1998年の時点においても鋼材に対する具体的な要求性能数値は必ずしも確定していない。このため、厚板の製造技術知見をベースにして、上記要求性能を保有した新材料として、表1、2に示すBT-LYP100及び、BT-LYP235(以下BT-を省略してLYP100、LYP235と記し、両者をLYP鋼と略す)の2種類の鋼材仕様を、新日本製鐵独自に開発目標として設定した¹⁾。

LYP鋼は、建築構造用として通常使用される引張強度が490N/mm²級の鋼材(例えばSN490)に対して、十分低い降伏耐力、引張強さを有する。強度が異なる2種類の鋼材を開発した理由は、制震デバイスとしての設計強度選定の自由度を考慮したためである。表1、2に示した化学成分及び機械的性質は、この材料がさらに一般化する過程において、規定項目や数値は材料試験方法も含めて見直されていく可能性がある。ただし1998年の時点においては、設計上ほぼ妥当な鋼材仕様としてユーザーの評価を得ている。また、追

表1 LYP鋼の化学成分(新日本製鐵規格)

| 鋼種 | | (mass%) | | | | |
|-----------|------|---------|-------|-------|--------|--------|
| | | C | Si | Mn | P | S |
| BT-LYP100 | 社内規格 | ≤0.02 | ≤0.02 | ≤0.20 | ≤0.030 | ≤0.015 |
| | 実績例 | 0.001 | 0.01 | 0.08 | 0.008 | 0.005 |
| BT-LYP235 | 社内規格 | ≤0.10 | ≤0.35 | ≤1.40 | ≤0.030 | ≤0.015 |
| | 実績例 | 0.017 | 0.008 | 0.38 | 0.017 | 0.006 |

表2 LYP鋼の機械的性質(新日本製鐵規格)

| 鋼種 | 降伏耐力(N/mm ²) | 0.2%耐力(N/mm ²) | 引張強さ(N/mm ²) | 破断伸び(%) |
|-----------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|---------|
| BT-LYP100 | — | 80~120 | 200~300 | 50%以上 |
| BT-LYP235 | 215~245 | — | 300~400 | 40%以上 |

試験片はJIS Z2201 5号試験片とする

従ってきた後発メーカー他社の材料もほぼ同様なものとなり、新日本製鐵規格は事実上のデファクトスタンダードである。

2.2 開発鋼材の材料特性

1) LYP鋼の母材特性

LYP鋼は、これを使用した様々なタイプの制震デバイスの開発、実用化に対応して、材質の改善が順次加えられてきた。材料の化学成分的な特徴は、LYP鋼がいずれも炭素及び合金元素が非常に少ない、純鉄に近い成分系(表1参照)となっていることである。図2には、直近に製造されたLYP鋼の降伏耐力、破断伸びの度数分布を示す。対象材の板厚が6~50mmと板厚範囲が広い製造データにもかかわらず、目標とした非常に狭い範囲に降伏点が収まっており、安定した製造技術が確立されていることがわかる。

図3に応力歪曲線の例を他の鋼材と比較して示す。LYP235は降伏棚を有するが、LYP100は降伏棚が明確に出ないラウンドハウス型となるため、0.2%歪み時を降伏耐力としてとっている。両者とも、降伏以降の歪み硬化による応力上昇が他の鋼材に比べて大きく、この特性はデバイスとしての履歴特性にあらわれる。シャルピー衝撃吸収エネルギーの遷移曲線を図4に示す。LYP100、235とも非常に良好な素材衝撃特性を有する。ただし、厚肉材で歪み速度が大きく、溶接継手などの切り欠きがあるような制震デバイスでは、脆性破断に対する検討が必要な場合があり、母材の靱性が要求されることになる。

LYP鋼を使用した制震デバイスの性能に影響する母材特性として、履歴特性、歪み速度依存性及び低サイクル疲労特性などがある。図5²⁾に振幅をパラメータとした定振幅低サイクル疲労試験における歪と応力の関係を、単調載荷試験結果と比較して示す。通常の鋼材と同様に、処女ループ以降の繰返しによる硬化が生じ、4~5サイクルで図6³⁾のような定常ループとなる。図5の値は20サイクル目の最大応力度と歪みをプロットしたものである。硬化の特性は実際のデバイスにおいても同様な傾向となるが、従来の鋼材よりやや高い硬化特性を示す。設計においては軸力型、せん断型などのデバイスタイプに応じた構造性能試験を実施し、デバイスごとに履歴性能を設定することになる。

図7⁴⁾はLYP鋼の歪み速度依存性を調べたものである。歪み速度に対する降伏耐力及び引張強さの上昇は、SM490等の従来鋼に比較して大きく、デバイスに想定される歪み速度に応じてこの影響を考慮する必要がある⁵⁾。ただし、破断伸びや一様伸びは歪み速度の影響が小さいことを確認している。図8²⁾は母材の低サイクル疲労

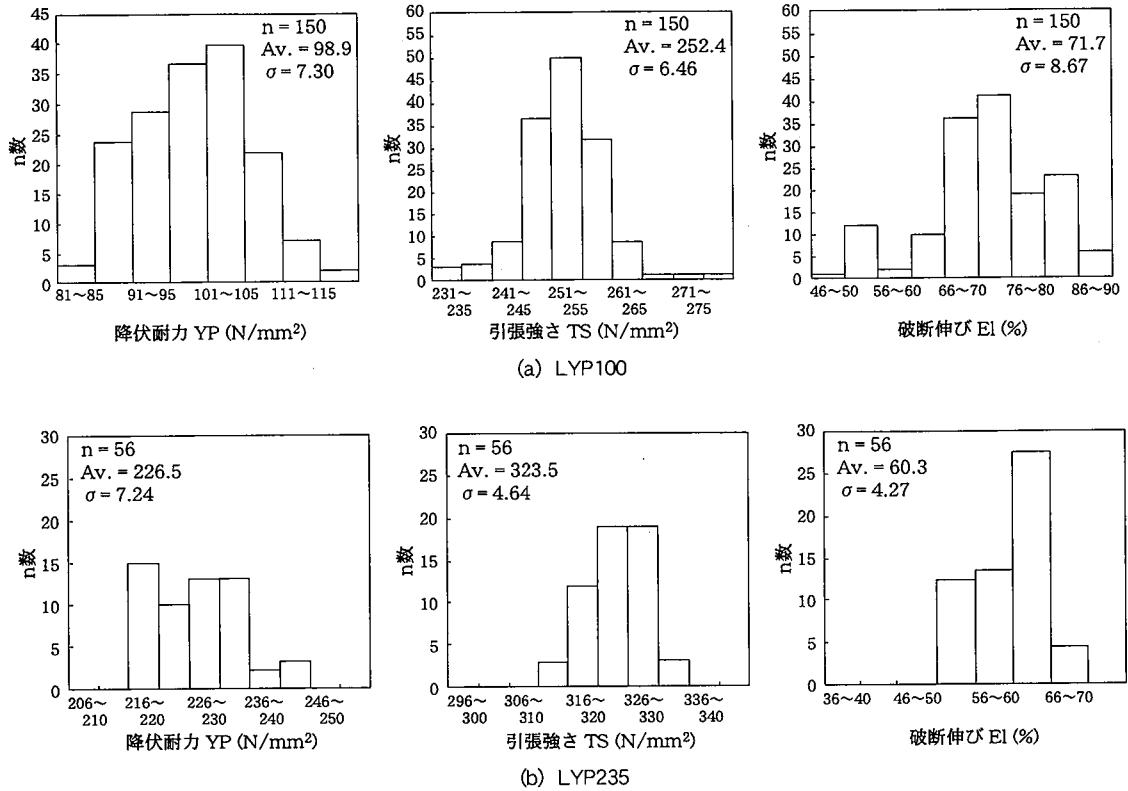


図2 LYP鋼の製造実績

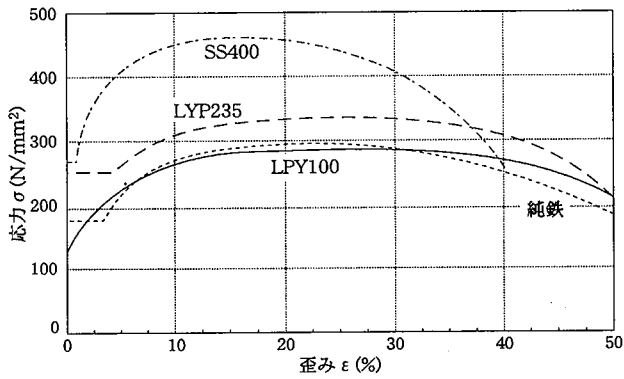


図3 LYP鋼の応力歪み曲線

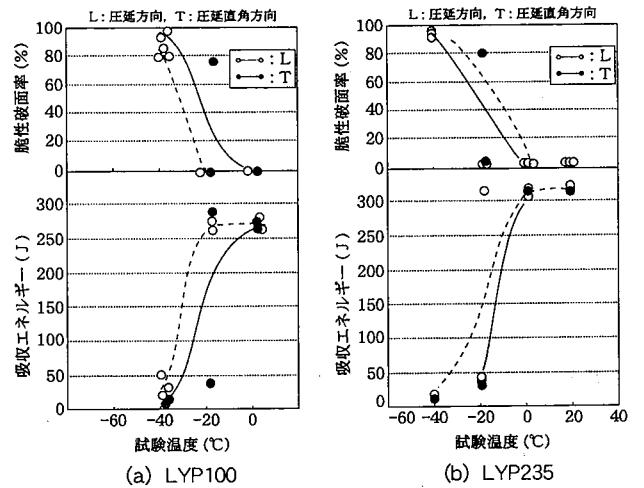
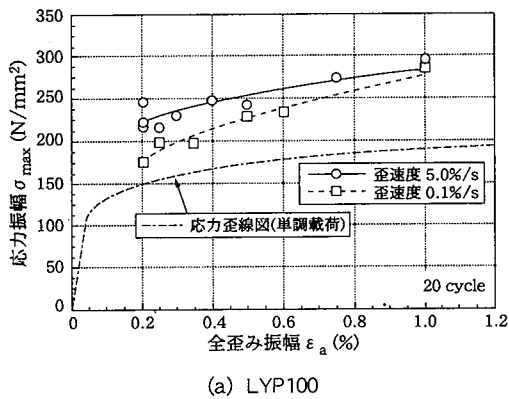
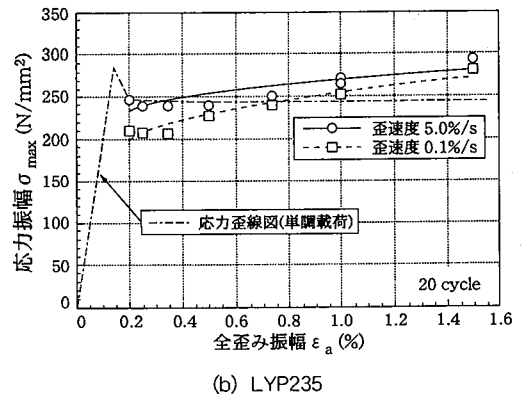


図4 LYP鋼のシャルピー吸収エネルギー遷移曲線(板厚: 25mm)



(a) LYP100



(b) LYP235

図5 応力振幅と全歪み振幅の関係

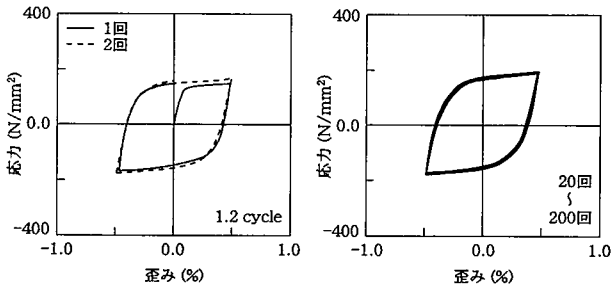


図6 ヒステリシス曲線(LYP100の例)

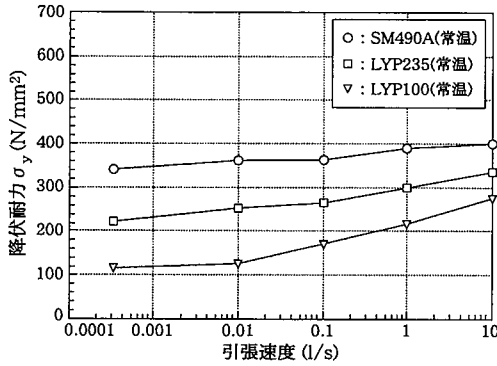


図7 LYP鋼の歪み速度依存性

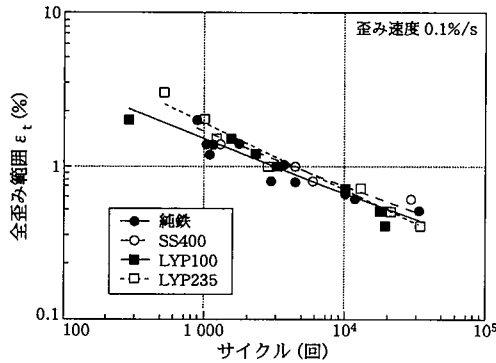


図8 LYP鋼の低サイクル疲労試験結果

試験結果であり、歪振幅と破断までの繰り返し回数の回帰曲線を求めたものである。LYP100, 235共にSS400と同様な低サイクル疲労特性を有する。実際の設計においては、デバイスタイプ毎に疲労試験が行われ、設計寿命が設定されている。

2) LYP鋼の溶接性, 溶接継手性能

LYP100, 235は化学成分的にみて炭素量や添加元素が非常に少なく、溶接性に特に問題はない。しかし、実際のデバイス加工においては、LYP100, 235の同種またはSN490B等との異種鋼材の溶

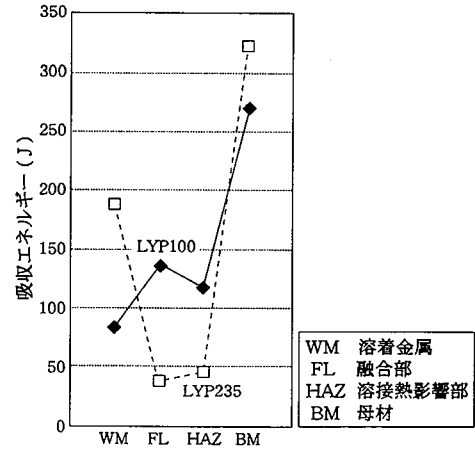


図9 LYP鋼溶接部のシャルピー衝撃試験吸収エネルギー

接が発生するため、溶接継手試験を実施してその性能を確認した。表3にLYP100, 235の突合せ継手の試験結果を示す。溶接継手引張試験では、何れも母材破断であり継手強度も確保されている。硬さ試験、y割れ試験による溶接性試験結果でも良好な溶接性が確認されている。図9にLYP100, 235側のボンド、溶接熱影響部のシャルピー吸収エネルギー値を示す。溶接により母材部の値が低下している。これは、母材組織が溶接熱により損なわれるためであるが、軸降伏型のデバイスの突合せ継手の場合に注意が必要である。低靱性LYP100を使用したブレース材の高速引張試験結果⁶⁾では、-40℃まで脆性破壊は発生していないが、溶接部の性能については今後の課題である。

3) LYP鋼の加工

LYP鋼は、6~12mm程度の比較的薄い板厚で設計されることが多く、降伏耐力が小さいために運搬および加工時に変形が生じ易い。このため加工工場においては、通常の構造用鋼材に比べて取り扱いを注意する必要がある。また、加熱による材質変化を防止するために、加熱冷却による歪み矯正も最小限とすることが必要である。このような管理に注意を払えばLYP鋼の加工組立は従来鋼に準じて実施することができる。

3. 制震デバイスの開発

3.1 LYP鋼を用いた制震デバイスの開発状況

新日本製鐵または各建設会社、設計事務所により、現在までに開発されたLYP鋼を用いた制震デバイスのタイプを図10に示す⁷⁾。部材の種類を大きく分類すると、鋼材を軸降伏させるもの(図中(a))とせん断降伏させるもの(図中(b)~(e))に分けられる。軸力型のデバイスとしては後述するアンボンドブレースが代表的なものであ

表3 溶接継手試験結果

| 鋼種 板厚 | 溶接材料 | 溶接条件 電流 - 電圧 - 速度 入熱 | 開先形状及び積層方法 | 引張試験結果 : 破断強度 | 破断位置 |
|------------------|-----------------|-----------------------------------|------------|----------------------|------|
| LYP100 t=25mm | YM-26 1.2mmφ | 280A-32V-25cm/min 入熱 21kJ/cm | | 283N/mm ² | 母材 |
| LYP235 t=25mm | | 300A-32V-28cm/min 入熱 20.6kJ/cm | | 353N/mm ² | 母材 |

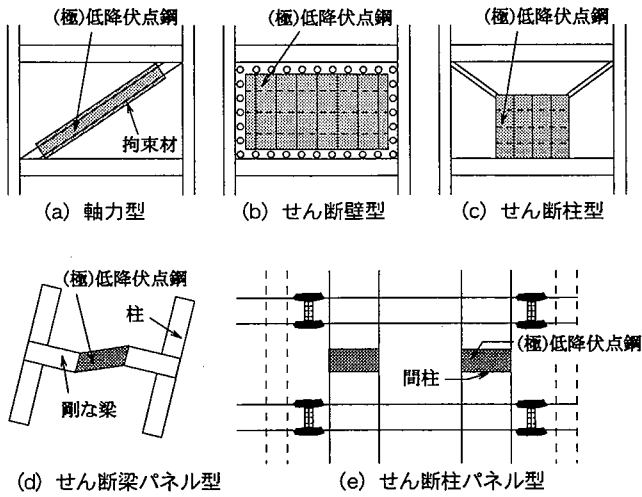


図10 LYP鋼を用いた制震デバイスのタイプ

り、せん断型のものとしてはせん断板をリブまたは周囲のプレートで面外補強したパネルが一般的に用いられる。いずれも部材は工場加工により組み立てられ、現場でガセットプレート及び高力ボルトにより周囲フレームに取り付けられることが多い。せん断型のデバイスでは同図中の(c)~(e)に見られるようにせん断パネルを剛部材の間に集約して設け、変形を集中させると共に取り替えを容易にするタイプも多く用いられている。その履歴性状は降伏タイプや集約度により異なる。

仮にバイリニアに荷重-変形関係をモデル化した場合のLYP100の降伏軸歪みを0.05%と設定すると、全階高にわたって45°に配置された軸力型のデバイスが降伏を始めるフレームの層間変形角(せん断成分)は約1/1000であり、レベル2の地震時の限界変形である1/100に対する塑性率は約10程度となる。これに対し同じく全階高にわたって配置されたせん断壁の降伏変形角は約1/1400となり、層間変形1/100に対する塑性率は14程度である。従って一般的にせん断型のデバイスの方が軸力型に対し早いレベルで降伏が始まる一方、1ループにおける累積塑性率が大きく、繰返し変形能力に劣る。この傾向は集約されたせん断パネルにおいてより顕著であり、1/100のフレーム変形角に対し塑性率が100を超えるものもある。

このように想定された最大変形角に対する塑性率が極端に大きいものに関してはパネルの局部座屈の影響、溶接部の歪み集中を含め、繰返し能力が大幅に低下する場合があるので注意が必要となる。また、硬化の少ないLYP235に対して、LYP100は歪み硬化、歪み速度依存性が大きいため、設計に当たっては降伏点を下限値だけでなく、上限値(200N/mm²程度)でも検討する必要がある。

以下に新日本製鐵において部材開発を行った二つのタイプについて詳細に述べる。

3.2 LYP鋼を用いたアンボンドブレースの開発

アンボンドブレースは平板または十字の芯材をアンボンド材を介して鋼管コンクリートで拘束し、座屈しないようにした軸力部材である(図11参照)。引張り、圧縮共に同等の復元力特性を持つ耐震部材、制震デバイスとして新日本製鐵により1986年に開発され、以来60件を越える建物に適用されている⁸⁾。芯材にはSS400やSM490を用いることが多く、この範囲で構造部材としての一般認定を取得している。最近、レベル1以下の地震動で塑性化させて応答の

低減を図り、かつ設計で意図した地震レベルで確実に降伏させる目的から芯材にLYP100, LYP235を使用するケースが増えてきている。

図12に芯材にLYP100を用いたアンボンドブレースの実大実験の様子および静的繰返し載荷時の荷重-変形関係を示す⁷⁾。普通鋼に比べ歪硬化の影響がやや顕著に見られるが、極めて安定した紡錘形のループが得られることが解る。部材の疲労実験他より、歪み振幅±0.5%(層間変形角1/100相当)に対する繰返し変形能力は200回(累積塑性率約7200)程度以上に達することが確認されている⁹⁾。

芯材にLYP100を用いた場合のアンボンドブレース端部の詳細例を図13に示す(十字タイプ)。初期歪みの進展に伴うボルトの滑りを防ぐため、端部は普通鋼(SN490B)を用い、突き合わせ溶接により芯材に接合している。また拘束材内部の芯材を先行降伏させ、芯材の歪み硬化後も溶接部の応力を一定値以下に抑えるため、芯材端

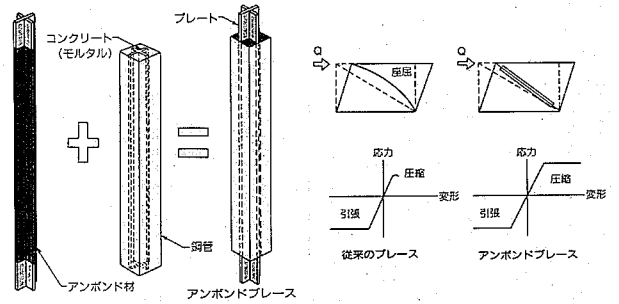


図11 アンボンドブレース

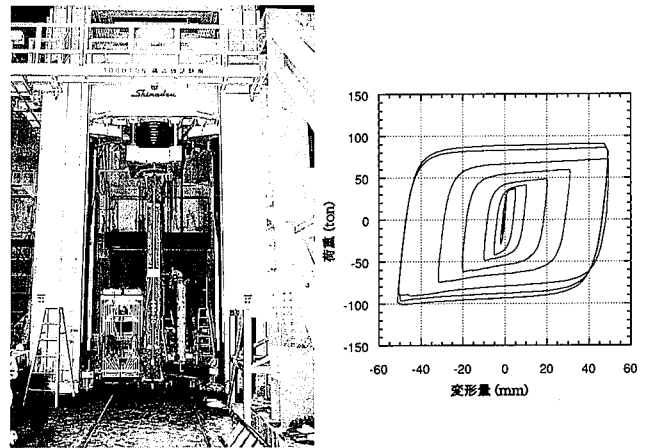


図12 LYP100を用いたアンボンドブレース実大実験

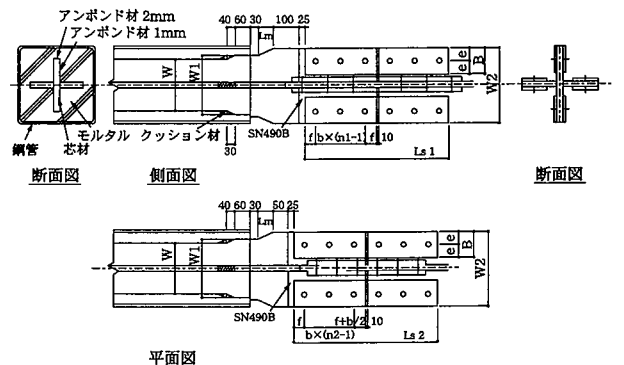


図13 LYP100を用いたアンボンドブレース端部詳細例

部は2段のハンチを設け、溶接部断面積を芯材の1.5倍以上確保している。

3.3 LYP鋼を用いた制震壁・間柱の開発

せん断型のパネルについては、図10(b)に示すような壁タイプを標準品として一般化を図っている他、図10(c)に示すような間柱タイプについても特定設計事務所及び建設会社と共同開発を行っている。図14にLYP100を使用した壁タイプの取り付け詳細例、建設省建築研究所において行われた、制震壁の3層せん断載荷実験の様子及び得られた荷重-変形関係を示す。せん断パネルは表と裏にそれぞれ縦、横にリブプレートが取り付けられ、拘束されたパネルの幅厚比は80とし、パネルのせん断降伏に先行して面外の局部座屈が生じない範囲に設定されている。また、リブ自身はせん断変形の進行に伴い、リブを含めた壁全体の面外座屈が生じないように設計されている。得られた復元力特性は最大変形角1/75に対し、累積塑性率250程度まで安定したループが確認されている。

図15にやはりLYP100を用いた間柱タイプのデバイスのせん断繰返し加力実験結果例を示す。パネルの幅厚比は66であり、最大塑

性率20までの繰返し増増載荷を行った。同図に見るように、累積塑性率170までは安定した紡錘形の復元力特性を示しているが、その後パネルの面外局部変形が進行してループは鼓型に移行し、累積塑性率800で局部座屈部の破断が生じている。これは塑性率7(層間変形1/100相当)の繰返し能力30回程度にあたり、前述のアンボンドプレースの約1/6の繰返し能力となっている。

4. 実建物への適用事例

4.1 パサージュガーデン北一区¹⁰⁾

建築設計：プランテック、構造設計：アルファ構造デザイン、協力：新日本製鐵

本建物は渋谷駅前に計画された地上14階地下2階、高さ63m、延べ床面積約1万m²のオフィスビルである。建物全体が外周の斜め格子フレームにより支持されており、この外周架構が外部にデザインとして表現された設計となっている(図16(a)参照)。

外周架構は建物自重を支持すると共に、地震水平力にも抵抗する必要がある、かつ各部材はすべて軸力部材となる。地震の際の格子部材の座屈は建物の自立能力を失わせ、全体崩壊につながるため避ける必要がある一方、すべての部材をレベル2の応力に対し弾性設計するのは不経済なため、LYP100を使用したアンボンドプレースによる損傷制御設計が適用され、経済的な架構を実現した。

図16(c)に構造計画概要を示す。格子の一部に制震デバイスとしてアンボンドプレースを挿入し、この部分を先行して塑性化させることにより地震のエネルギー吸収を図り、建物を支える他部材の座屈を回避している。その結果、デバイスの履歴減衰と長周期化の効果により、レベル1のベースシアはデバイスを使用せず弾性設計を

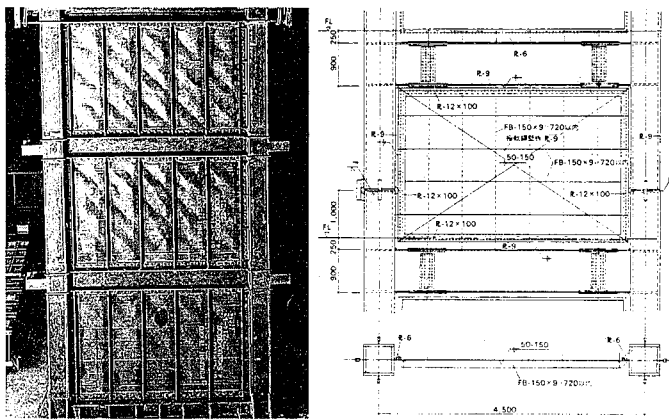


図14 LYP100を用いたせん断壁加力実験

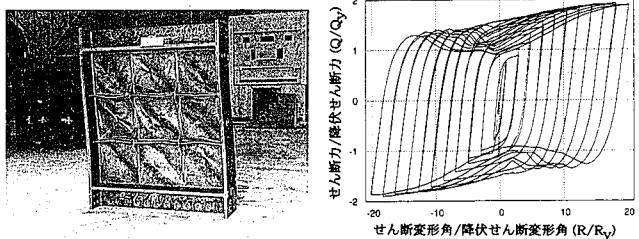
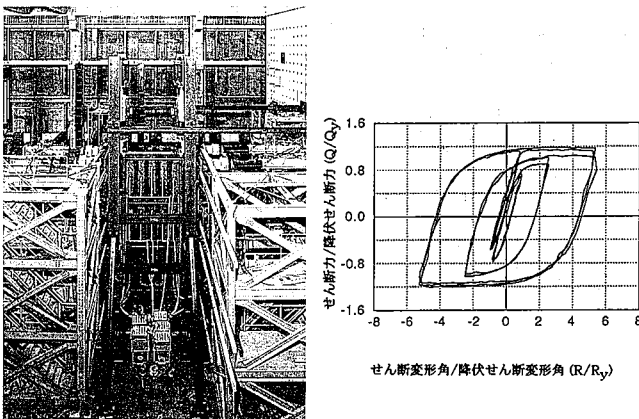
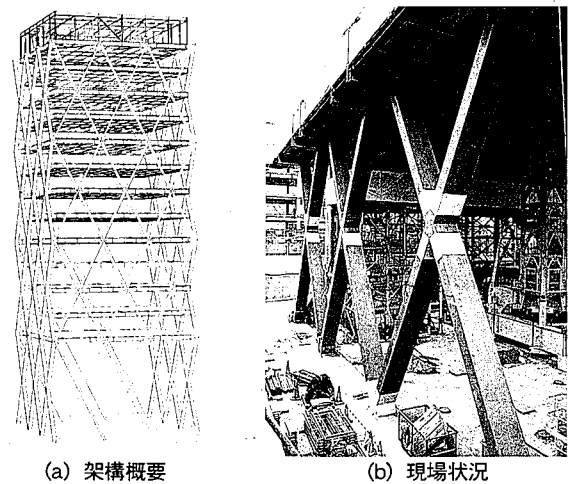
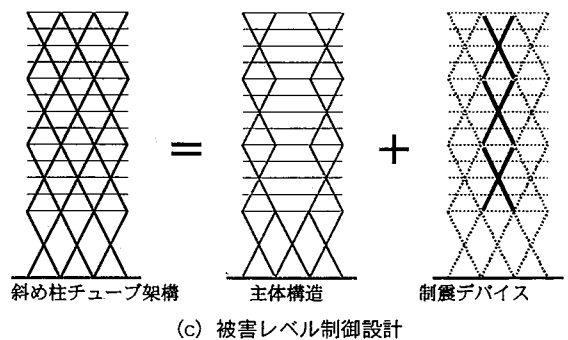


図15 LYP100を用いたせん断柱加力実験



(a) 架構概要

(b) 現場状況



(c) 被害レベル制御設計

図16 極低降伏点鋼アンボンドプレース適用例 (パサージュガーデン北一区)

行った場合に比べ約50%に低減されている。アンボンドブレース芯材に使用されたLYP100は幅500mm，厚40mmの平板であり，部材長さは約9mである。これらの部材はレベル1以下の地震で塑性化を始め，レベル2地震動に対しては最大塑性率3.4に達する。一方，その他の鉛直荷重支持部材はレベル2の地震動においても座屈荷重の半分程度以下の軸力に収まっている。なお，制震部材に生じる最大歪速度は，レベル2の地震に対し約0.7%/sと推定されている。

本建物においては，風荷重や小地震に対する制震デバイスの累積塑性率を管理するため，別途新日本製鐵により開発された累積軸変位測定装置が取り付けられている。

4.2 さいたま広域合同庁舎¹⁾

建築・構造設計：関東地方建設局，日建・東畑・RTKL共同企業体
地上31階地下2階延べ面積約12万m²，及び地上26階地下3階延べ面積約13万m²の2棟の庁舎ビルであり，いずれも中央吹き抜けの周囲にLYP100を使用した制震壁を配置することにより，大地震時の層間変形や揺れを低減し，地震後の残留変形を抑えることを

狙っている(図17参照)。

制震壁に使用されたLYP100は厚さ6～25mm，大きさ4.5m×3m前後のもので，縦横リブにより補強され，高力ボルトにより周囲のフレームに接合された。アンボンドブレースのときと同様に，摩擦接合部のガセットプレートは普通鋼を使用している。これらのデバイスは架構内で応力集中しやすい吹き抜け回りに配置され，立面に対し市松状に配置することにより，曲げ変形によるデバイス効果の減少を最小限に抑えている。その結果デバイスはレベル1以下，最大速度15cm/s程度の地震より塑性化を開始する。但し，風荷重に対しては弾性設計としている。応答解析の結果，変位を制震壁を用いない場合に比べ最大30%程度低減する効果が確認できた。

4. 結 言

以上，LYP鋼の材料特性とこの鋼材を使用した制震構造の研究開発，実用化の現状について述べた。制震構造は，建築基準法の改正に伴う“建築物の性能規定化”に対応した耐震設計技術として，現状の高層建築への適用から，一般建築物に広く普及していくと思われる。本報告で述べたLYP鋼を使用した制震デバイスは，他に比べて安価で高い信頼性を有することから，制震デバイスの主流となることが期待されている。

今後の課題として，鋼材に対する要求性能の明確化と鋼材規格の統一，動的特性の把握及び設計法の一般化などが残されている。

参照文献

- 1) 山口種美，杉沢充，望月晴雄：低降伏点鋼及び極低降伏点鋼の材料性能。日本建築学会大会梗概集，1994.9
- 2) 佐伯英一郎，杉沢充，山口種美，和田章：低降伏点鋼のヒステリシス及びヒステリシスエネルギー特性に関する研究。日本建築学会構造系論文集。(473)，159-168 (1995)
- 3) 佐伯英一郎，杉沢充，山口種美，和田章：低降伏点鋼の低サイクル疲労特性に関する研究。日本建築学会構造系論文集。(472)，139-147 (1995)
- 4) 鈴木孝彦，山口種美，池辺卓：極低降伏点鋼の機械的性質に及ぼす歪速度の影響。日本建築学会大会梗概集，1997.9
- 5) 田中清，佐々木康人，鈴木孝彦，山口種美：極低降伏点鋼制震パネルの動的特性に及ぼすひずみ速度の影響に関する研究。日本建築学会大会梗概集，1997.9
- 6) 前田泰史，中田安洋，鈴木孝彦，岩田衛：軸降伏型履歴ダンパーの機械的性質に及ぼす歪速度の影響。日本建築学会大会梗概集，1998.9
- 7) 制震構造最新動向。日経アーキテクチャー。(1996.6.3)
- 8) 佐伯英一郎，前田泰史，中村秀司，緑川光正，和田章：実大アンボンドブレースに関する実験的研究。日本建築学会構造系論文集。(476)，149-168 (1995)
- 9) 前田泰史，中田安洋，岩田衛，和田章：軸降伏型履歴ダンパーの疲労特性に関する研究。日本建築学会構造系論文集。(503)，109-115 (1998)
- 10) 海野敏夫，林賢一，岩田衛：アンボンド部材を有する斜め格子チューブ構造の設計その1～2。日本建築学会大会梗概集，1997.9
- 11) 木原颯見，北村春幸，鳥井信吾：極低降伏点鋼を用いた制震鋼板壁の設計。鋼構造年次論文報告集。5，523-530 (1997)

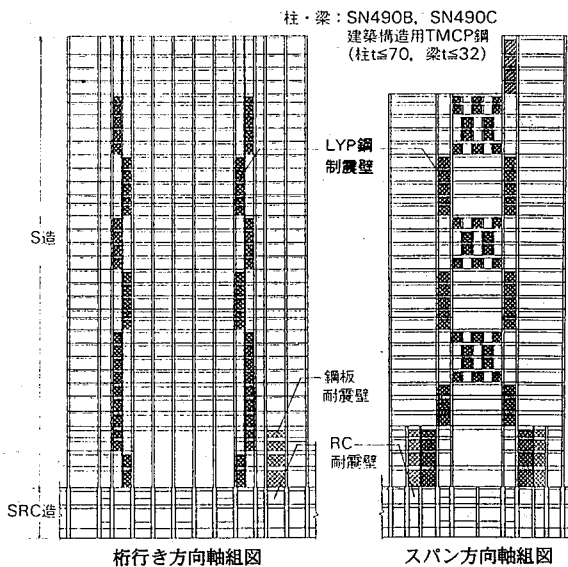
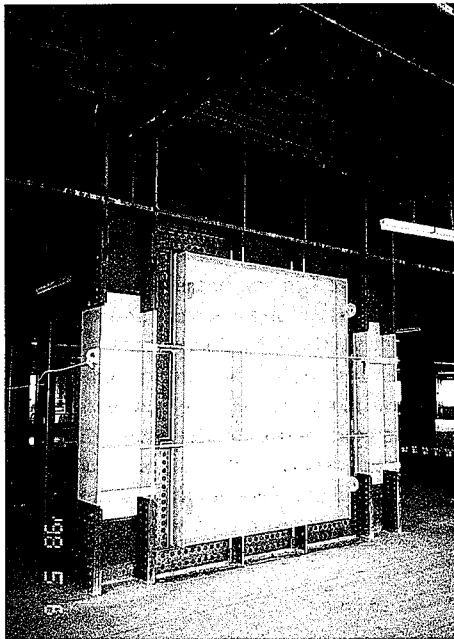


図17 LYP鋼制震壁適用例
(さいたま広域合同庁舎)