

二重管 FLD 部材について



研究ノート

今井 克彦*

Tube-in Tube type FLD Bracing Member (Force Limiting Device)

Key Words : FLD, Brackling, Ductility, Tube-in-Tube, Structural shock absorber

1. はじめに

FLD (Force Limiting Device) は、圧縮部材の座屈現象を取り除くための一種の構造的ヒューズとも言うべき応力制限機構である (図 1)。

この概念を発表したのは L. C. Schmidt¹⁾ 等で、1979 年に初めて二層立体トラスによる理

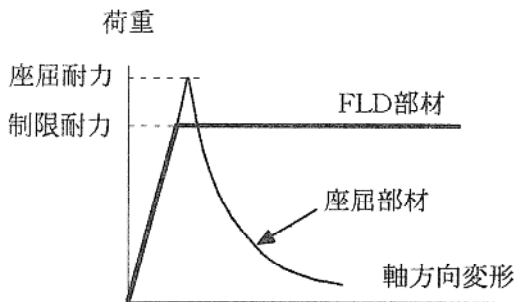


図 1 FLD を導入した部材の特性

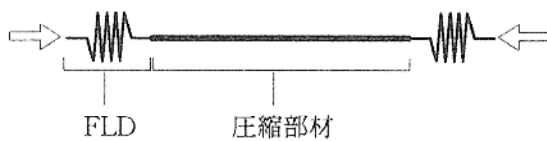


図 2 Schmidt の FLD 部材

論研究を行った。Schmidt は、部材端に座屈荷重より小さい一定の荷重で変形する機構を持つモデルを用いた (図 2)。1968-80 年にかけて各種の接合部形 FLD 開発が検討された (部材端の油圧装置、高力ボルト接合部の摩擦力、ハニカム材の圧壊、鉛の変形、部材端部の塑性変形や局部座屈などを利用したもの) が実用化に至らず継続的研究が中断された。

その後、G. A. R. Parke²⁾ が 1985 年から円形鋼管による三重管およびを内外の角形鋼管を中間帯で連結した方式の部材形 FLD 研究を再開した (図 3)。Parke の FLD 部材は、中間部材の断面積を内外管より小さくしてあり、中間部材の降伏が先行するようになっている。部材が圧縮を受けると中間部材が引張り降伏し、逆の場合は圧縮降伏する。中間部材は内外管によって拘束されている。圧縮引張りの繰り返し荷重を受けた場合も極めて安定した履歴が得られており、FLD 部材としての性能を十分満足している。図 4 に結果の一例を示す。しかし、構造

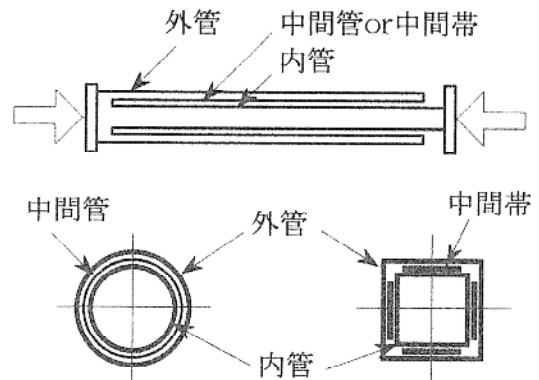


図 3 Parke の FLD 部材

*Katsuhiko IMAI
1944年 3 月 8 日生
1970年大阪大学大学院工学研究科、
修士課程構築工学専攻修了
現在、大阪大学大学院工学研究科
地球総合工学専攻、教授、工学博
士、空間構造学
TEL 06-879-7566
FAX 06-879-7566
E-Mail karl@arch.eng.
osaka-u.ac.jp



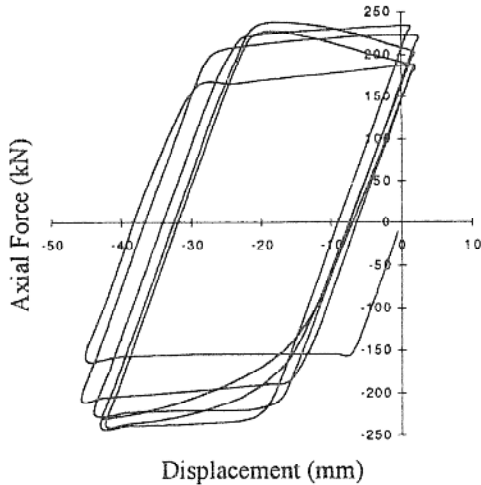


図4 軸力・変形関係 (Parkeの三重管)

がやや複雑なため現在の所、実用化には至っていない。

1990年には筆者も部材端に中空円錐状の金具を装着した接合部形FLDの検討を行い、一応の成果を得たが研究を中断した³⁾。

1991年にはParkeの三重管をヒントに筆者が二重管方式のFLDを考案し、多田、桑原らと研究に着手した⁴⁾⁵⁾⁶⁾。

2. 二重管FLD部材

二重管FLD部材は、軸方向荷重のみに抵抗する軸力管と軸力管の座屈を防止する補剛管からなる。座屈補剛の原理は、図5に示すとおりである。軸力管が降伏して材軸と直行方向に変形し、補剛管に接触した状態を考える(図5(b))。この状態から補剛管による軸力管の拘束が始まる。この時、補剛力を等分布荷重で与えられる(図5(d))と仮定し、補剛管中央での曲げモーメントを考える。補剛管の降伏曲げモーメントがこの曲げモーメントより大きければ部材は材屈することなく変形する。この条件により補剛管の必要降伏曲げモーメントを決定する下式が得られる。

$$m_b \cdot l \geq (e+v_0) / \{1 - 5 / (48k_b)\}$$

$$m_b = M_b / (N_y l), \quad k_b = EI / (N_y l^2)$$

e, v_0, N_y, l, E, I は、それぞれ二重管間の隙間、補剛管の初期不整、軸力管の降伏耐力、部材長さ、ヤング係数、外管の断面二次モーメン

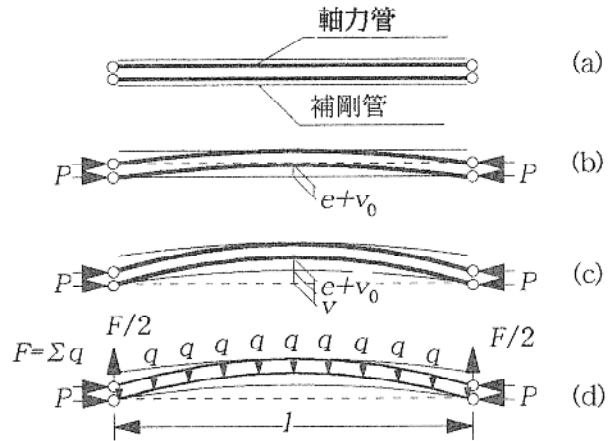


図5 FLDの部材の補剛原理

トを表わす。図中の記号は v は、補剛管の曲げ変形を表わす。

図6は、上式による安定域、不安定域の境界を示したものである。境界線の上側(安定域)に来るように補剛管を選ぶとFLD部材は座屈することなく変形する。境界線近傍の安定域でも十分な変形能力のあることが実験的にも確認されている。

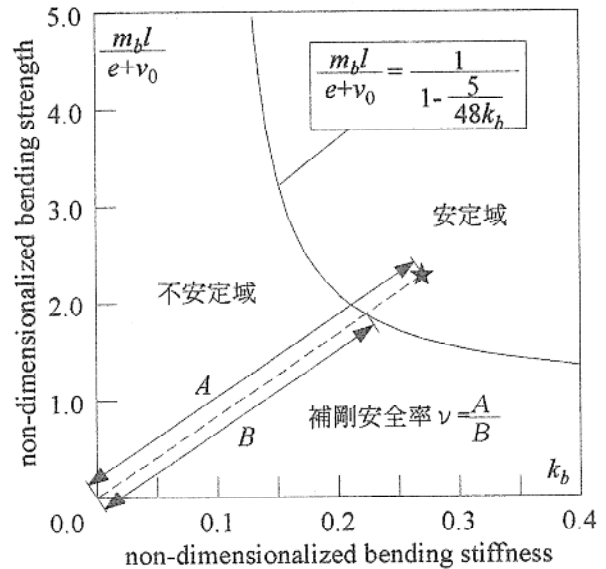


図6 補剛管の必要曲げ耐力・剛性関係

軸力管に普通鋼(SS400クラス, $\sigma_y \approx 3t/cm^2$)を用いた場合で境界に近い時の荷重軸方向変形の関係の例を図7に、また最近話題になっている極低降伏点鋼($\sigma_y \approx 1t/cm^2$)を用いた例を図8に示す。いずれも安定した履歴を示しており、

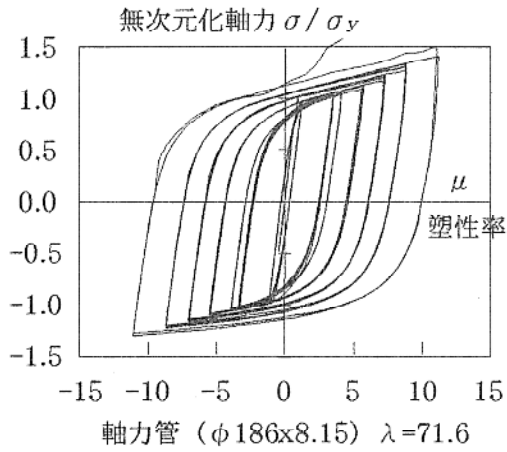


図7 軸力・変形関係

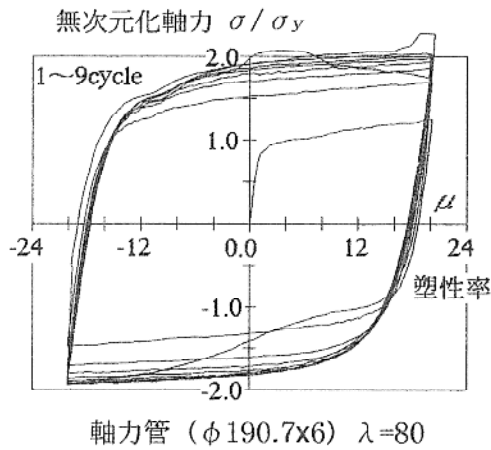


図8 軸力・変形関係

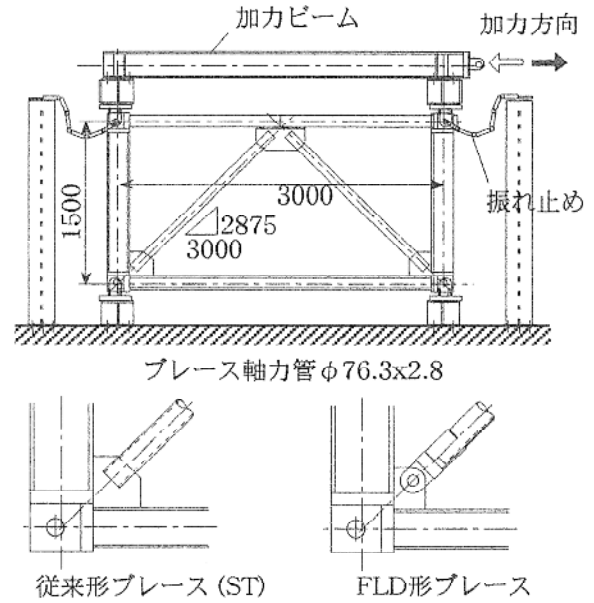


図9 実験状況及び試験体

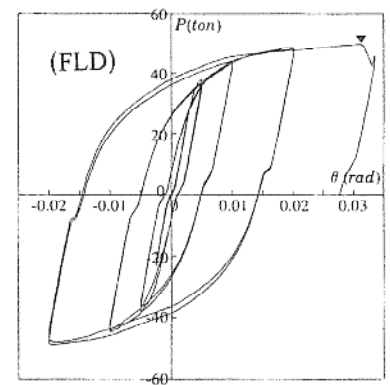
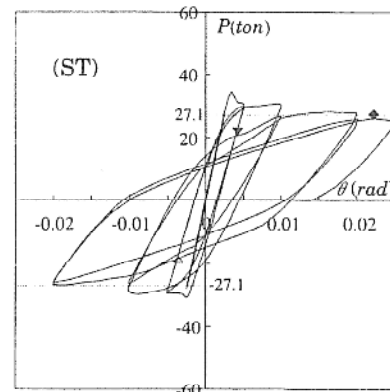


図10 水平力・層間変位関係

FLD 部材としては十分な性能を有している。特に、極低降伏点鋼は極めて大きな塑性変形に対しても安定しており、今後の応用が期待される。

FLD 部材は、座屈に対して安定であるためエネルギー吸収能力が大きく、特に耐震補強用ブレースとして有効である。図9は、門形フレームにブレースをK形配置した水平加力実験の様子を示す。通常の単管ブレース(ST)と材端ピン接合のFLD部材を比較するために行ったものである。

図10に実験結果の比較を示す。単管ブレース(ST)では圧縮側部材が座屈すると急速に耐力を減じ劣化履歴を示しエネルギー吸収も小さい。一方、FLD部材の方は圧縮側での座屈を生じないため大変形域に至る安定した紡錘形の履歴により大きなエネルギーを吸収しており、耐震要素としての有効性を示している。

二重管FLD部材の第一の特長は、軸方向の剛性と降伏耐力を座屈を考慮しないで独立に選べる点である。ブレース設置部では一般に応力の集中が避けられないのでK形配置などの従来

形の圧縮ブレースでは座屈を避けるため断面を太くして細長比を小さくする必要がある。結果的に部材断面積が大きくなり軸剛性と耐力が大きくなる。軸剛性が大きくなるとさらに設置部には応力の集中が大きくなり、より大きな断面が必要になり応力も大きくなるというイタチゴッコに陥ることが多い。

このような応力は最終的には特定の基礎に集中的に伝えられるが特に基礎部分の構造計画上苦勞するところである。FLD 部材ではブレースとして必要な断面を剛性と降伏耐力に対して独立に選べるのでこのようなイタチゴッコを生じない。特に、既存不適格建築物などで構造、基礎に余力の小さい場合の補強に有効である。基礎などへの過度の応力集中を避け補強の最適化が容易である点で画期的である。

第二の特長は、補剛管の強度と剛性を適切に選ぶことにより細長い部材でも座屈を考慮しなくてよい点である。このことは、ブレースとして用いる場合、既存建物の開口部に適用しても視覚的に抵抗感が少ないこと、軽快なデザインが可能なこと、接合部の収まりが単純でデザインの自由度が高いことなどである。直接目に触れる部分に使用する場合に重要な点である。補強のみでなくデザインのリニューアルを含めた耐震改修材としての応力が期待できる。図 11 に二重管 FLD 部材の形状の例を示す。

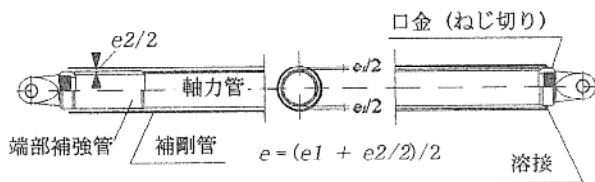


図 11 FLD 部材姿図

3. おわりに

阪神淡路大震災後、耐震性に問題のある既存

不適格建築の改修に特に関心が高まっており、FLD 部材は、多くの建物で実施あるいは設計検討されるようになってきた。最近では、軸力材と補剛材の組み合わせも多様化したものが各方面で検討されており、研究分野として広がりつつある(図 12)。FLD 部材以外にも多くの補強デバイスが研究開発されており、実施設計に当たっては要求性能、デザイン性を考慮してこれらの中から実情に合わせて最適なものを選択する時代になってきたと考えられる。



図 12 軸力材と補剛材の組み合わせの例

参考文献

- 1) L. C. Schmidt and A. Hanaor, Force Limiting Devices in Space Truss, J. St Div. ASCE, Vol.105, No.ST5, 1979
- 2) G. A. R. Parke, The Behavior of Space Trusses Incorporating Novel Compression Members, Thesis for the PHD, Univ. of Surrey, 1988
- 3) 今井克彦・脇山広三・多田元英・近藤史朗: トラス材の応力制限機構に感ずる研究(1, 2), 日本建築学会近畿支部, 1990
- 4) 今井克彦・脇山広三・多田元英・桑原進他: 二重鋼管の補剛効果に関する研究(1~5), 日本建築学会大会梗概集, 1991, 92
- 5) 桑原進・多田元英・米山隆也・今井克彦: 二重鋼管の補剛性能に関する研究, 日本建築学会論文報告集第 445 号
- 6) 安井信行, 今井克彦, 藤沢一善, 清水孝憲他: 極軟鋼を用いた制振ブレースの履歴特性について(1, 2)

