

ブレース付き鉄骨ラーメンの実験的研究 (その3)

—新しい鉄骨ブレース—

武田 寿一
竹本 靖
高橋 泰彦
古屋 則之

概 要

一般のブレース付き架構は、剛性が高く、弾塑性域の性状も悪く、また、剛性調節が困難なために、高層建築に利用したり、弾塑性設計をするのに多少問題がある。この欠点を改良するために、ブレースは座屈させないことを前提として、大地震時には引張ブレースの降伏、梁の降伏、接合部の降伏、ブレースの1部分の降伏などを起こさせる架構を考案した。これらの架構について、具体的な例をあげて説明するとともに、そのうちの3例をとり出し、模型実験を行い効果を検討した。その結果、荷重—変形曲線は従来のもとは異なり、塑性域まで安定した性状を示し、非常に良好であった。

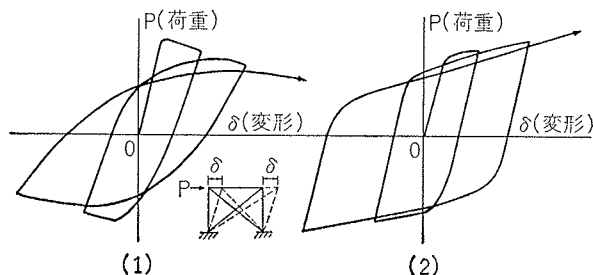
1. 序

鉄骨ブレース付き架構を設計するにあたり、いろいろの問題が提起され、現在、これらを解決するための努力が各方面でなされているようである。このレポートではブレース付き架構の1つの問題点である弾塑性挙動の改良というテーマをとりあげた。

耐震、耐風要素として、引張、圧縮両ブレースを有効としたブレースを配置した一般の架構では、大部分の水平力をブレースが負担する。従って、ブレース付き架構の性状はブレースの挙動で左右されることになる。一般に、ブレース付き架構の弾性剛性は大変高く、動的解析上、有利とは言えない場合がある。すなわち、剛性を適当に調節する必要が生じるからである。

一方、ブレースが大きな圧縮力を受けて座屈を起こすと、耐力は著しく低下し、架構の荷重—変形の関係は負の勾配をもつ。さらに、座屈後、ブレースにはたわみが生じ、伸縮剛性が低下するので、架構の復元力特性は悪化する。すなわち、模式的に書くと、図—1.1 (1) のような荷重—変形曲線となる。

このような性状のブレース付き架構でも、ブレースの座屈前の挙動のみを扱う完全弾性設計には十分適用できる。しかし、建物に作用する地震荷重が不確定で



図—1.1 荷重—変形曲線モデル

あり、そのうえ、いかなる想定地震に対してもすべて弾性範囲内で設計するのは必ずしも経済的ではない。大型の建物、高層建築に限らず、一般に構造体には十分な靱性を与えて、大地震に対して安全性を確保することが必要である。現在、要求されるのは、解析上の単純化のためにも図—1.1 (2) のような安定した荷重—変形の関係をもつ架構であろう。

2. ブレースの新方式

図—1.1 (2) のように弾塑性域で安定した性状を示す架構を得るためには、大変形に至るまでブレースには座屈を起こさせないこと、大地震時には架構全体の崩壊につながらない個所を降伏させること、の2項を前提としたブレース付き架構の改良が望ましい。そのための基本的なアイディアとして、

イ) 大地震時には引張ブレースを引張降伏させる

〈引張ブレース降伏方式〉

ロ) 大地震時には梁を降伏させる 〈梁降伏方式〉

ハ) ブレースの1部分を降伏させるようにブレースを非直線的に配置する 〈ブレース非直線配置方式〉

ニ) ブレースと柱、梁、または、ブレースとブレースの接合箇所以降伏させる 〈接合部改良方式〉

ホ) ブレース断面を改良し、座屈を防止する

〈ブレース断面改良方式〉

などが考えられる。従来のブレース付き架構と異なりイ) ~ホ) にもとづいて設計された架構では、弾性域はブレースによるものの、塑性域はそれぞれ、イ) 引張ブレース、ロ) 梁、ハ) ブレースの1部分、ニ) 接合部、ホ) 引張、圧縮ブレース、の塑性特性でまらることになる。

このように、一般の架構の設計方針とは異った方針

にもとづいて設計すれば、架構は大巾に改良できるはずである。

3. 新しいブレース付き架構の例

前章のアイディアを具体化した新しいブレース付き架構の例を示す。ブレースの配置形式はX型形式(図面番号(a), (b)...)とKトラス形式((a'), (b')...)をとりあげて例を示した。また特殊な場合を除き、柱、梁、ブレースの各部材を線材で表示し、短期許容荷重を決定する部分には⓪をつけて明記した。

3.1. 引張ブレース降伏方式

この方法では、引張ブレースの降伏後の良好な性状を利用して架構の塑性域での性状を改良する。図-3.1 (a), (a') は一般のブレースをコンクリートで補強した例を示す。コンクリートは引張ブレースには効かないが、圧縮ブレースでは圧縮力を分担するとともに、断面2次半径を大きくし、座屈耐力を上昇させる。従って、圧縮ブレースの座屈に先行して引張ブレースの

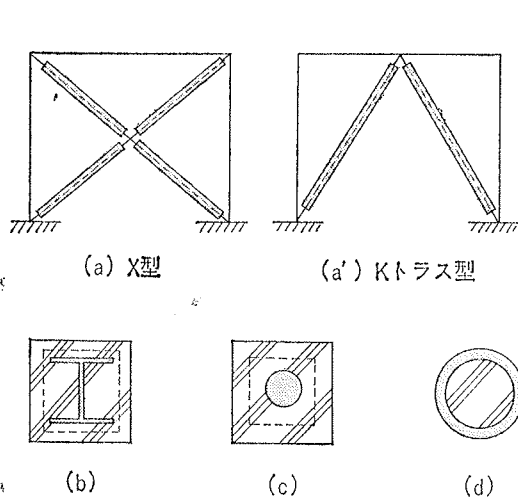


図-3.1 引張ブレース降伏方式

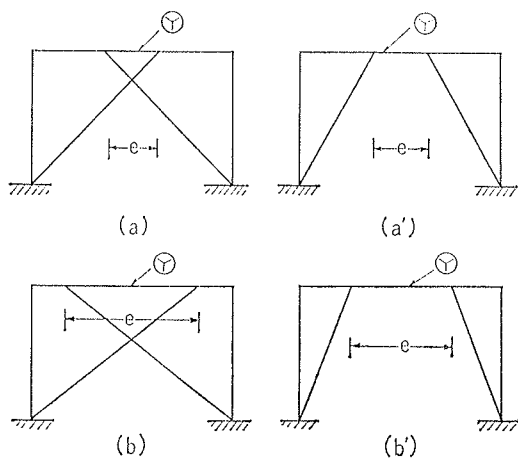


図-3.2 梁降伏方式

降伏が起こり、一般のものとは異った性状を示す架構が得られるわけである。

図-3.1 (b), (c), (d) は補強されたブレースの断面で、(b), (c) はコンクリートでH型鋼と鋼棒を巻き、(d) は鋼管の中にコンクリートを充填した例である。

3.2. 梁降伏方式

梁降伏型のブレース付き架構はブレースの座屈荷重より低い荷重で梁を降伏させ、塑性域ではブレースでなく、梁の塑性特性で架構の性状を改良する。そのために、梁にせん断力や曲げモーメントが生じるようにブレースの交点を梁芯から上下にずらしてブレースを配置し、梁の中央部で短期許容荷重や剛性を調節する。図-3.2に例を示しているが、偏心距離eの小さい(a), (a') の場合には梁にせん断降伏が起こり、eの大きい(b), (b') では曲げ降伏が起こる。

3.3. ブレース非直線配置方式

ブレースの配置方法を改良し、圧縮ブレースが座屈する以前にブレースの1部分を、曲げまたは、せん断降伏させて、架構の変形をこの部分だけで吸収させる方法である。従って、一般の直線ブレースと異なり、非直線的なブレース形式となる。

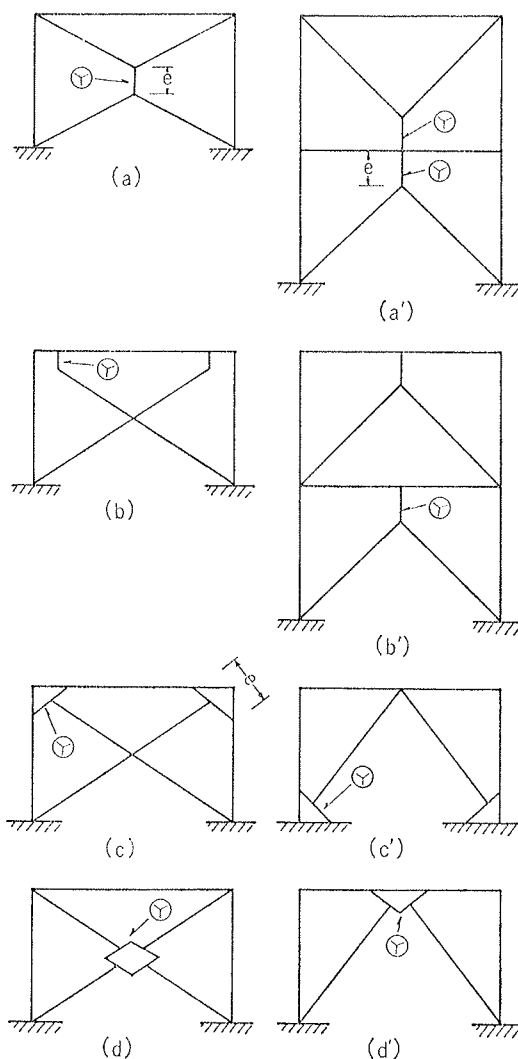


図-3.3 ブレース非直線配置方式

図-3.3に例を示す、これらのうちで代表的な形式は(a)と(c)であり、他は両者のバリエーションと考えられる。

(a)は一般的なX型ブレースの交点を2つに分離し、その2つの交点を束材形式のつなぎ材(長さe)で継いだ形式である。この架構が水平力を受けた場合、つなぎ材はせん断力と曲げモーメントをうける。短期許容荷重ではつなぎ材が降伏し、ブレースは座屈しないように断面をきめておけば、最初につな

ぎ材が降伏し、それ以後の架構の変形をつなぎ材の塑性変形のみで吸収できる。

(b) はつなぎ材を梁との接合部に配置した形式であり(a')は(a)を2層に分け、(b')は(a')の下半分、または、(b)のつなぎ材を1本に統合した形式で、ともに(a)と原理は同じである。

また、(c)はX型ブレースの端部を方杖材につないだ形式で、ブレースの座屈に先行して、方杖材の降伏を起こさせる。すなわち、(a)のつなぎ材と同じ働きを(c)では方杖材に行なわせる。

(c')はKトラス型ブレースに方杖材を用いた例であり(d)、(d')は方杖材を組合わせてブレースの交点に配置した形式である。

3.4. 接合部改良方式

ブレースの継手の接合プレートで架構の剛性および耐力の調節を行なう方法である。

図-3.4はウェブの中央にスリットをあけたH型断面の接合プレートの例で、ウェブ部分に左右から2本のブレースを接合した図である。ブレースに働く圧縮または引張力によって、H型接合プレートのウェブが変形する。変形量はウェブの弾塑性特性によって変化し、ひいては、ブレース全体の伸縮剛性を調節することになる。また、耐力も断面積できめることができる。

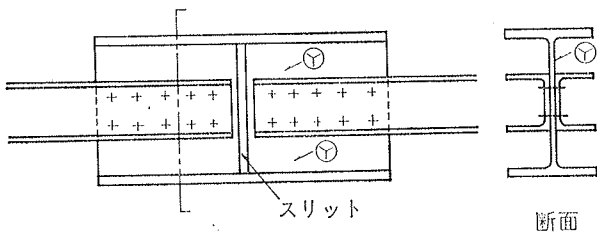
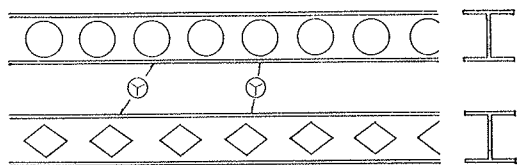
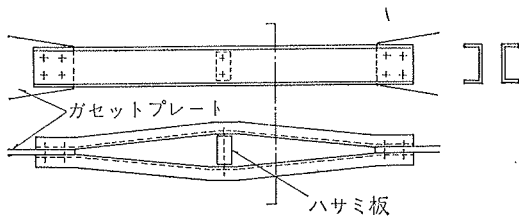


図-3.4 接合部改良方式



(a)穴あきブレース(H型鋼の例)



(b)初期たわみブレース(C型鋼の例)

図-3.5 ブレース断面改良方式

3.5. ブレース断面改良方式

ブレースの断面を改良して、ブレースの座屈に先行して、圧縮、引張両ブレースを同時に降伏させる方法で、具体的な例を図-3.5に示す。

(a)は単にブレースのウェブ、または、ウェブに近いフランジに穴をあけた形式である。ウェブの穴によって、ブレースの引張、圧縮強度は低下するが、断面2次半径、すなわち、細長比はほとんど低下しない。

(b)はブレースを初期たわみをもつ2部材で形式し、断面積を変えずに断面2次半径を大きくする。

(a)、(b)ともに、圧縮ブレースが座屈する以前に、ブレースは降伏する。

4. 新しいブレース付き架構の実験例

3章で新しいブレース付き架構を模式図で説明したが、その効果は予測しがたい。そこで、次のような模型実験を行ない効果を実証した。

4.1. 試験体

図-4.1のごとく、4種類でそれぞれの試験体は次の方式のモデルである。

STK型……引張ブレース降伏方式 図-3.1(a')

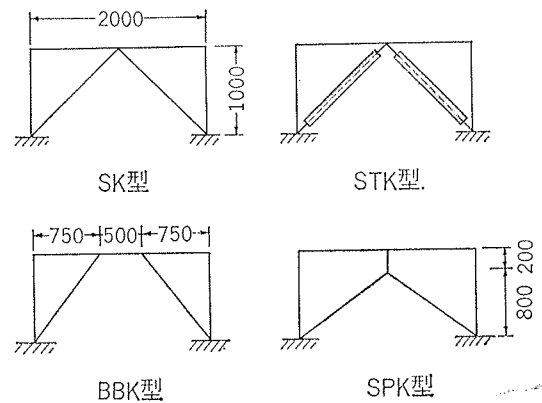


図-4.1 試験体略図

	試験体	部材断面	断面積 cm ²	断面2次 モーメント cm ⁴	細長比
柱	全試験 体共通	H-100×100×6×8	21.9	134	—
梁	全試験 体共通	H-150×75×4.5×13	25.1	981	—
ブレース	SK型	2-[65×26×4.5×4.5]	9.7	24.4	84
	STK型	2-[65×26×4.5×4.5]	9.7	24.4	84
	BBK型	2-[75×32×4.5×4.5]	11.7	38.7	61
	SPK型	2-[75×32×4.5×4.5]	11.7	38.7	65
つなぎ材	SPK型	H-250×150×4.5×13	49.1	2882	—

表-4.1 使用部材と断面性能

BBK型……梁降伏方式 図-3.2(a')

SPK型……ブレース非直線配置方式 図-3.3(b')

SK型……一般のKトラス型ブレース付き架構

試験体の大きさは階高 1.0m, スパン 2.0m で、ほぼ実大の 1/3 である。各部材の断面および諸係数を表-4.1に示す。ブレースは R4.5 を曲げ加工した C 型鋼 2 丁を背中合わせにした部材である。BBK 型、SPK 型のブレースの細長比は SK 型より 20 程度小さくし座屈を防止している。

また、SK 型と全く同じ試験体のブレースを 10cm × 10cm 断面のコンクリートで巻いて STK 型とした。

なお、鋼材のパラッキで多少変化しているが、STK 型以外の試験体の短期許容荷重はおよそ 20TON になるように設計した。

4.2. 載荷方法

載荷は片持梁形式で行ない、柱脚を固定した試験体の柱頭にジャッキ 2 基で左右両振りの水平力を繰り返し加力した。

繰り返し加力は変形振巾が部材角で、 $1/500$, $1/200$, $1/150$, $1/100$ まで変形した時点で行ない、履歴性状を検討した。最終的には部材角が $1/30$ 以上になった時に実験を終了とした。

また、各部材の変形、歪みをダイヤルゲージと歪ゲージで測定した。

4.3. 実験結果

各試験体の荷重-変形曲線を図-4.2 に、実験終了時の写真を図-4.3 に示す。図中には短期許容荷重と弾性剛性を点線で記入した。

図-4.3 でみると、SK 型はブレースが座屈した後で、耐力は急激に低下し、その後の繰り返し加力によっても座屈荷重までは上昇しない。むしろ、徐々に低下の傾向にある。座屈前は直線的で安定しているが、座屈後の塑性域での性状は極めて悪く、図-1.1(1)の性状と全く一致する。写真ではブレースの面外たわみがかかなり大きいことがわかる。

STK 型は SK 型より剛性が 30% も高く、また、ブレースが座屈しないために、短期許容荷重 (Pa) 以後も荷重は上昇し、最大荷重は 1.5Pa 以上となった。その間、繰り返しによる履歴性状も良好であった。従って STK 型は SK 型の性状をかなり改良していると言える。しかし、最終的にはブレースに巻いたコンクリートが多少剥落しており、この点、まだ改良の余地がある。

SPK 型では予想通り、つなぎ材にせん断降伏が起こり、短期許容荷重以後、剛性は著しく低下した。しかし、降伏後の履歴は紡錘型で安定し、靱性も非常に

良い。性状は図-1.1(2) と一致し、弾塑性解析にも適用でき、つなぎ材の断面や長さを変化させることによって剛性の調節も可能である。最終状態では、つなぎ材の変形のみ顕著である。

BBK 型では梁のせん断降伏に続き、梁に曲げ降伏が起き、短期許容荷重で剛性は低下した。弾塑性域の挙動および履歴性状は SPK 型とほとんど等しく、良好な結果を示している。図-4.4 では、梁の上下移動がみられるが、他の破損箇所はない。

4.4. 実験のまとめ

引張ブレース降伏方式の STK 型、梁降伏方式の BBK 型、ブレース非直線配置方式の SPK 型の結果はともに K トラス型ブレース付き架構の SK 型よりもすぐれていると思われる。

これらのうちで、BBK 型と SPK 型の性状はよく似ているが、STK 型だけは多少異なっている。すなわち BBK 型と SPK 型は SK 型に比べ、剛性、耐力は低下しているが、塑性域での性状は非常にすぐれている。一方、STK 型は塑性域での性状が良くなっただけでなく、剛性、耐力も上昇している。但し、靱性は BBK 型、SPK 型より劣っている。

建物の種類や設計方法によって条件が変わるので、どの形式が最もすぐれているかということは一概には言えないが、実験した 3 種類の形式はともに従来の架構をかなり改良していると思われる。

5. おわりに

一般のブレース付き架構は、塑性域の性状が悪く、弾塑性設計や剛性調節耐震要素として利用するには多少難がある。そこで、引張ブレース降伏方式、梁降伏方式、ブレース非直線配置方式、接合部改良方式、ブレース断面改良方式の 5 種類の改良方法を提案し、具体的な新しいブレース付き架構の例をスケッチで示した。また、そのうちの 3 種類について、効果を確かめるために、模型実験を行なったが、結果は予測を裏づけし、大規模建築や高層建築にも十分利用できることが判明した。この結果より、今回は実験を省略した他の方式についても、同様に良好な性状が得られることが予想される。

今後はこのレポートで提案したような、靱性や履歴性状が良好で、剛性の調節が可能なブレースについて、施工性や経済性を検討するとともに、より有効なディテールの開発、および、これらを用いた架構の適切な構造設計法についての研究を進めてゆくつもりである。また、検討中の解析法については次報で発表する予定である。

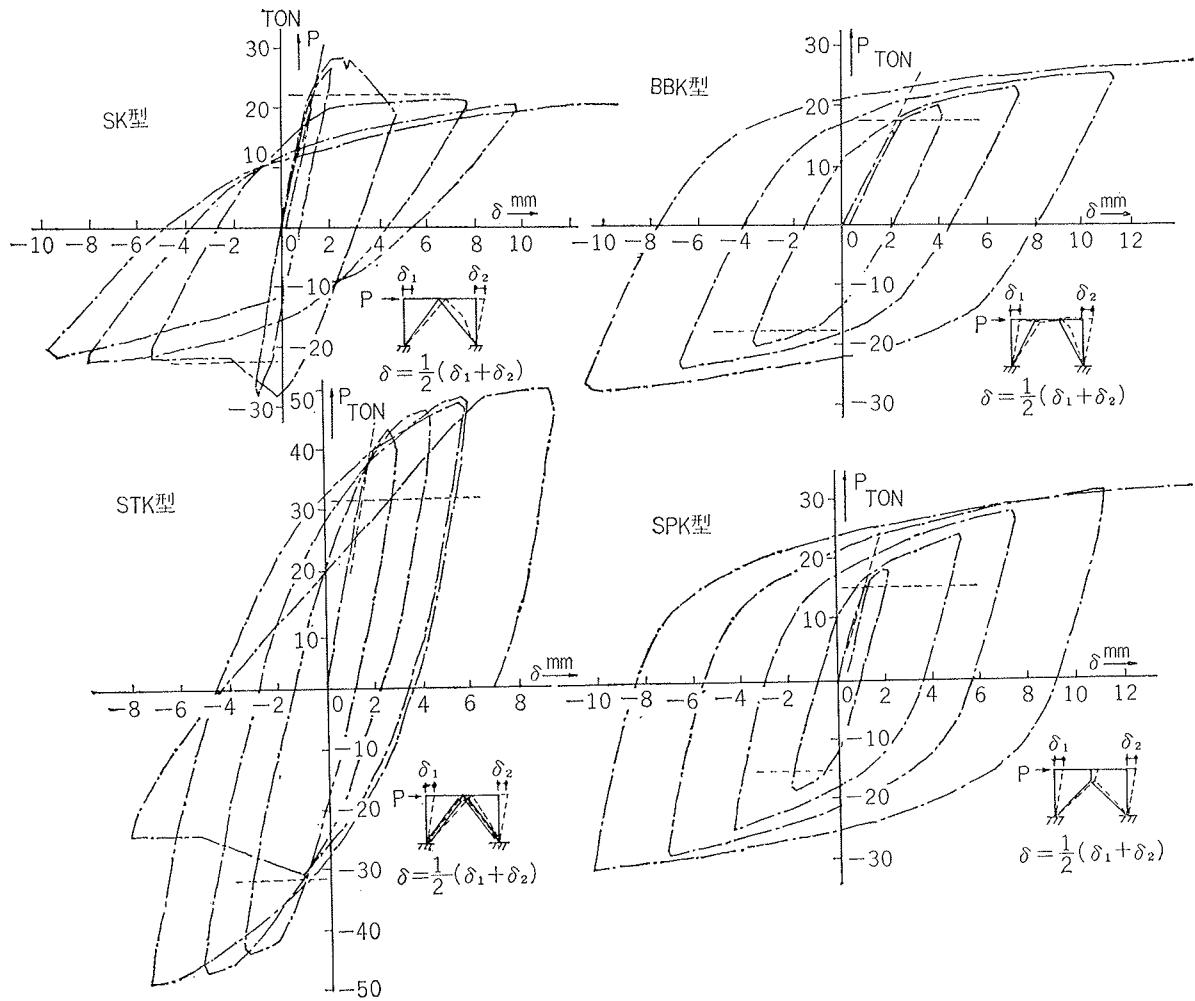
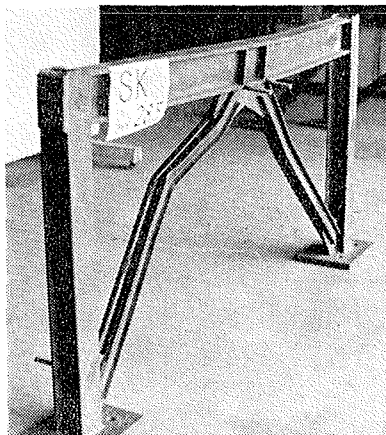
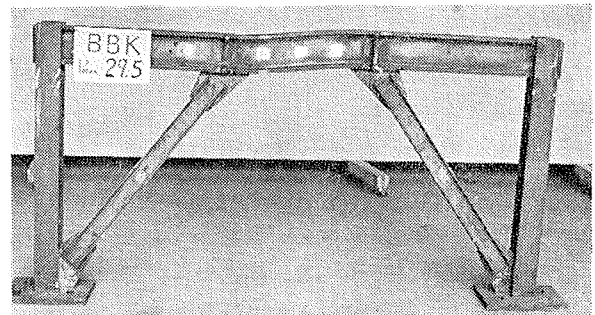


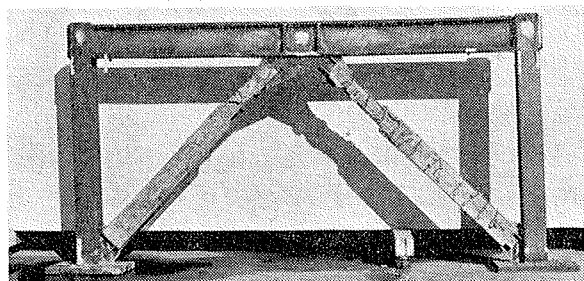
図-4.2 試験体の荷重-変形曲線



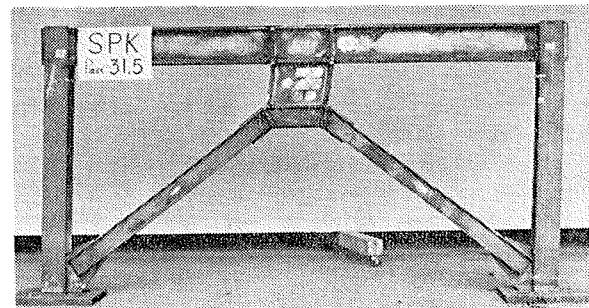
SK型



BBK型



STK型



SPK型

図-4.3 各試験体の最終写真

参考文献

青柳司：サンワ東京ビルの建物概要と構造設計
カラム 42号