

(126) 鋼製箱型橋脚模型の横方向高密度補剛による変形性能の向上

京都大学工学部 正員 家村 浩和
大林組 正員 岡 重洋
京都大学大学院 学生員 前田 英輝

中部大学工学部 正員 山田 善一
立命館大学理工学部 正員 伊津野和行

1. はじめに

構造物の耐震安全性を合理的に向上させるには、構造断面（強度）を増加させるよりも、ねばり（変形性能）の確保が重要である。本研究では、部材横方向の補剛間隔及び補剛方法を変えた鋼製箱型橋脚模型について静的載荷実験を行い、横方向補剛材が部材の耐力及び変形性能に及ぼす効果について解明する事を目的とした。

2. 実験概要と供試体

本研究の載荷システムを図1に示す。実験ケースとしては全ての供試体で軸力13tonf、自由端曲げモーメントを0tonf・mmと設定し、それぞれ許容誤差 ± 0.65 tonf、 ± 120 tonf・mm以内に収まるように2台の鉛直アクチュエーターを制御した。また、載荷経路としては1サイクル目に18mmの変位を与え、2サイクル以降は6mmずつ変位を増加させ、最終的には54mmまで水平変位を与えた。

供試体は、横方向補剛材の影響を調べるため、縦方向補剛材は全ての供試体で1本とし、横方向補剛材の間隔及び補剛方法を変化させた供試体とした。供試体は表1、図2～図4に示すような5種類である。補剛間隔としてはB、C、Dが最も密であり、次いでE、そしてAが最も疎である。B、C、Dについては、補剛間隔は同一とし、補剛方法に表1のような違いを持たせた。

3. 実験結果

1) 耐力力

図5に履歴復元力特性の包絡線、図6にウェブ面の座屈波形を示す。全タイプの最大耐力力及び耐力力の劣化の割合と座屈波形について比較してみる。各タイプとも最大耐力力となるサイクル及びその直後のサイクルまではウェブ面に座屈が生じておらず、また耐力力もほとんど低下していない。最大耐力力となった後の第5サイクルでは、縦補剛材が横倒れ座屈を起こし座屈波形の節になっていないAタイプにおいて耐力力の低下の割合は最も大きい。縦補剛材が横倒れ座屈を起こした

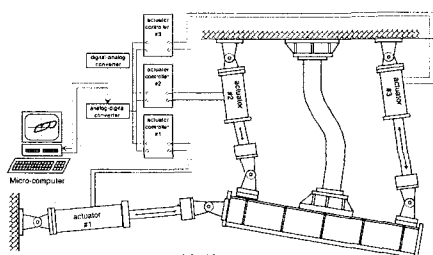


図1 載荷システム

供試体	横補剛材	補剛間隔 (部材端より)	横補剛方法
A	1本	560mm	4.5mm × 27mmの板で補剛
B	5本	60,130,210 385,560mm	4.5mm × 27mmの板で補剛
C	5本	60,130,210 385,560mm	4.5mm × 27mmの板で補剛 更に4.5mm × 50mmの板で 十字に補剛
D	5本	60,130,210 385,560mm	6.0mm × 54mmの板で補剛
E	3本	130,345 560mm	6.0mm × 54mmの板で補剛

表1 供試体の横補剛の種類

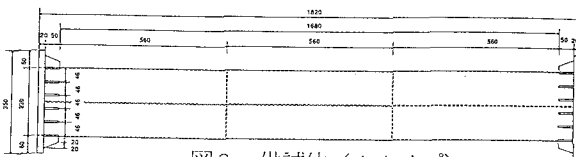


図2 供試体（Aタイプ）

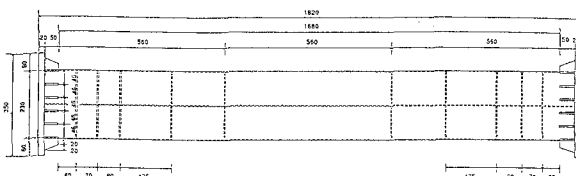


図3 供試体（B, C, Dタイプ）

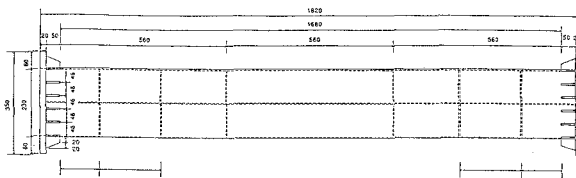


図4 供試体（Eタイプ）

ものの座屈波形の節になっているEタイプでは、耐荷力の低下の割合は、縦補剛材が横倒れ座屈を起こさず座屈波形の節になっているB, C, Dタイプとさほど変わらない。第5サイクルでは、Aタイプの耐荷力が最大耐荷力の約半分にまで低下している。EタイプはB, C, Dタイプに比べてフランジ面が大きく座屈しているにもかかわらず、ウェブ面においては座屈の深さには差がなく、また縦補剛材が節線として働いており、耐荷力の低下の割合もB, C, Dタイプに比べてさほど差がない。

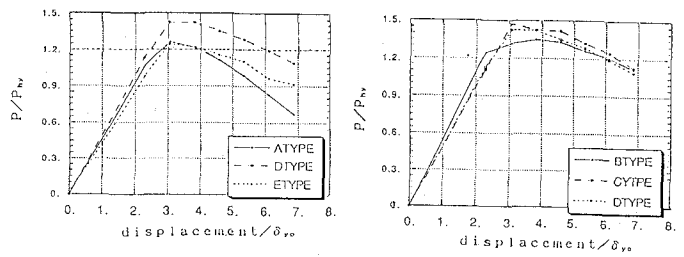


図5 包絡線

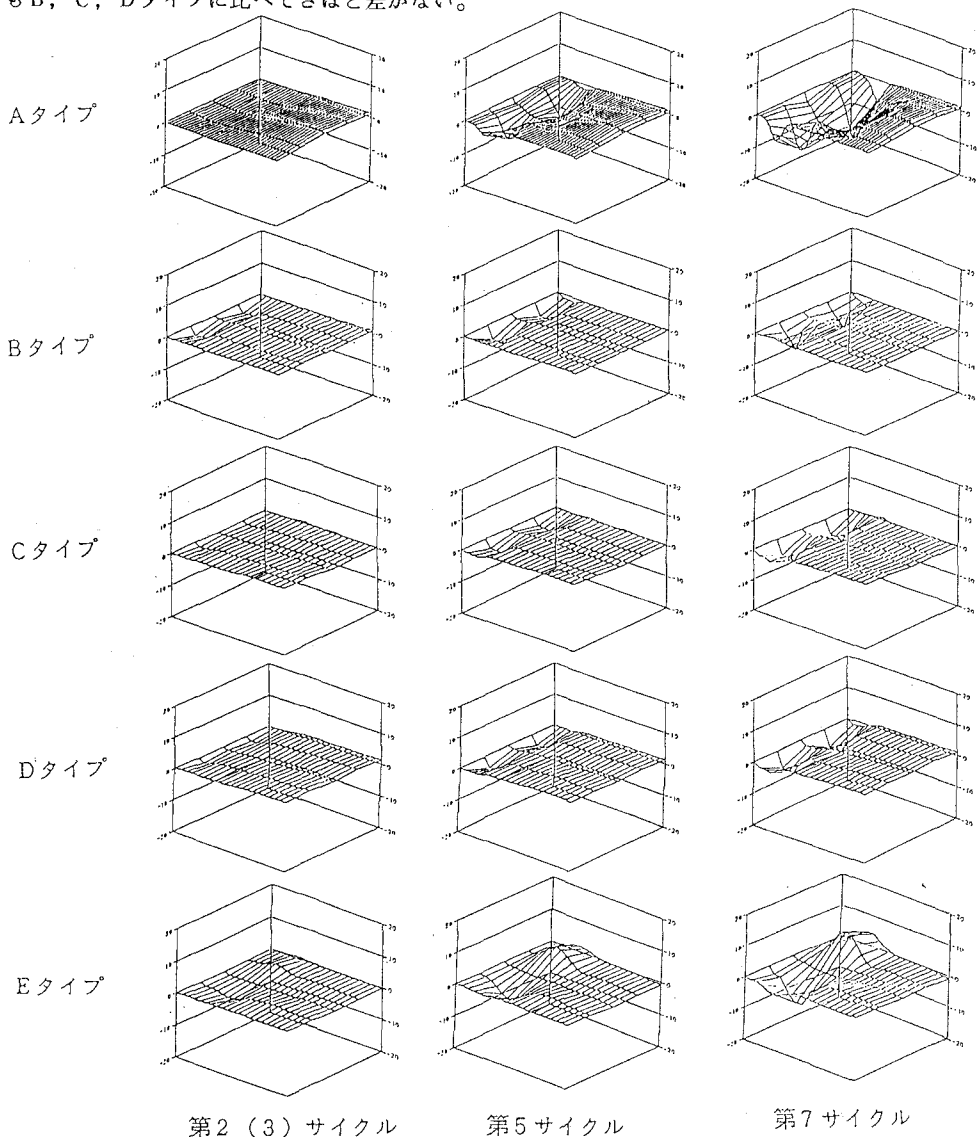


図6 座屈波形

2) 履歴形状及び履歴吸収エネルギー

図7に各供試体の履歴形状を示す。但し、水平荷重を設計降伏荷重 (P_{hy}) で、水平変位を P_{hy} に対応する柱頂部の水平変位で除して無次元化している。また、表2に各供試体について1サイクルごとの履歴吸収エネルギー (各サイクルにおけるループに囲まれた面積) の値及び総履歴吸収エネルギーの値を示す。表中の*は、各供試体での最大耐荷力の生じたサイクルを表す。

最終サイクルにおいて履歴ループの幅はB, C, D, E, Aの順に大きくなっている。つまり、補剛間隔を小さくし座屈長さを小さくすると履歴ループの幅は小さくなり、同じ補剛間隔のときはCタイプのような十字補剛よりもDタイプのような板厚、幅とも大きい補剛のほうが履歴ループの幅は大きくなる。

また、総履歴吸収エネルギーでは、各タイプともあまり差はないことが分かる。このことと1)の耐荷力を併せて考えると、B, C, D, Eタイプは横補剛材を密に配置することで耐力劣化が少ないにもかかわらず、耐力劣化の著しいAタイプとはほぼ同量の総履歴吸収エネルギーが得られていることが分かる。

3) 剛性

正負両側の最大変形点から等価剛性を算出しているため、等価剛性の劣化の割合は、耐荷力の劣化の割合と大きく関係しており、また結果もよく一致している。図8からも分かるように、Aタイプが最も劣化の割合が大きく、B, C, Dタイプでは差がなく、EタイプがA, Dタイプの中間の値をとっている。

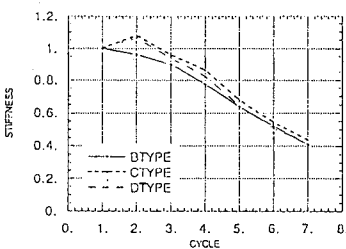
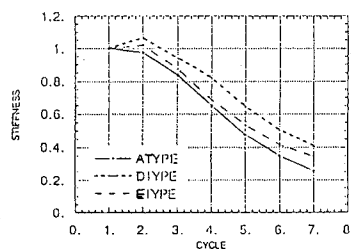


図8 等価剛性

CYCLE	ATYPE	BTYPE	CTYPE	DTYPE	ETYPE
1	16.038	18.352	12.194	9.0107	8.2500
2	* 35.235	29.093	* 30.587	* 32.539	* 29.595
3	86.053	* 57.583	72.275	71.454	74.735
4	149.37	111.75	131.18	132.02	152.94
5	227.86	193.12	218.26	225.18	231.01
6	271.52	280.83	305.25	313.67	294.67
7	299.76	344.79	370.02	370.20	348.59
TOTAL	1085.9	1035.5	1139.9	1154.1	1139.8

表2 履歴吸収エネルギー

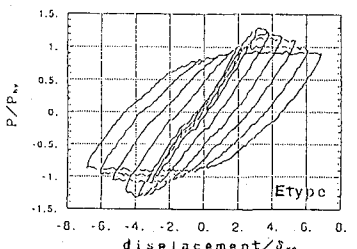
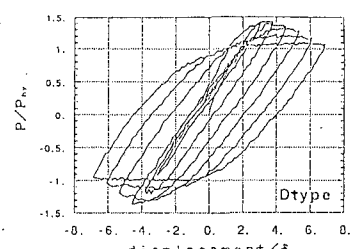
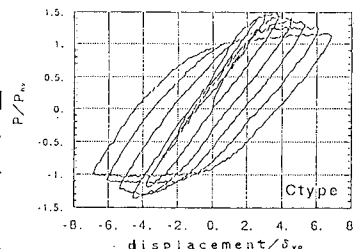
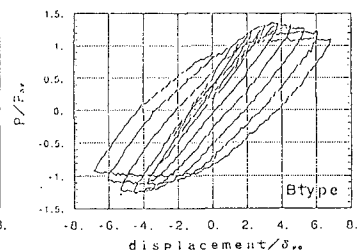
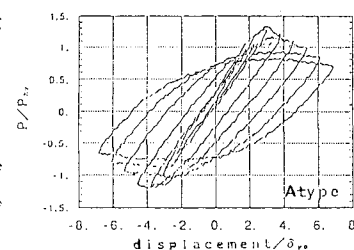


図7 履歴形状

4) 水平荷重—鉛直変位履歴曲線

図9に各供試体の水平荷重と軸方向圧縮量の履歴曲線を示す。Aタイプでは、他のタイプに比べて最後の3サイクルあたりから軸方向圧縮量が増加しており、縦補剛材が節線とならず大きく座屈していることが分かる。B, C, Dタイプでは、材端から60mmのところにある横補剛材により座屈長さを短く抑えているため、座屈変形量が小さく抑えられ、軸方向圧縮量も比較的小さい値にとどまっている。Eタイプでは、材端より130mm

のところにある横補剛材により座屈長さを短く抑えているが、その幅がB, C, Dタイプに比べて大きいので、軸方向圧縮量はB, C, Dタイプより大きい値で、Aタイプより小さい値をとっていることが分かる。

4. 結論

①横補剛材を入れ、縦横比 α を小さくすることで縦補剛材の剛比 (γ/γ^*) を大きくし、横倒れ座屈を防ぐことにより、最大耐荷力は大きくなる。

②横補剛間隔が同じであれば、補剛方法を変えたとしても、B, C, Dタイプの中で一番弱いBタイプの補剛(4.5mm×27mmの板で補剛)で横倒れ座屈は防げるので、Cタイプ(十字補剛)、Dタイプ(6.0mm×54mmの板で補剛)のような強補剛にしても最大耐荷力はほとんど上がらない。

③面内曲げを受けるウェブ面での座屈変形量を小さくし、縦補剛材の剛比を大きくし、縦補剛材を節線として有効に働かせることにより、耐荷力の低下の割合は小さくなる。また、縦補剛材が横倒れ座屈を起こしたとしても、節線として有効に働けば、耐荷力の低下の割合を抑えることができる。

④横補剛間隔が同じであれば、補剛方法を変えたとしても、B, C, Dタイプの中で一番弱いBタイプの補剛で、縦補剛材は節線として働いており、またウェブ面での座屈変形量にも差はないため、耐荷力の劣化を抑えることに関してはC, Dタイプのような強補剛にする必要はないと考えられる。

⑤等価剛性の低下の割合は耐荷力の低下の割合と密接な関係があるので、④と同様に、等価剛性の低下の割合を小さくするためにC, Dタイプのような強補剛にする必要はないと考えられる。

⑥縦補剛材の剛比を上げることで、最大耐荷力の増加や変形性能の向上に効果があるという結果が従来の実験より得られている。本研究での結果より、縦補剛材の断面形状及び供試体の断面形状を変化させ断面2次モーメントや補剛材の剛比 (γ/γ^*) を大きくしなくても、横補剛材を部材端に密に配置することにより、耐震性のある部材の作製は可能であることが確認された。

謝辞 本研究を実施するに当たって土木学会鋼構造委員会鋼構造新技術小委員会の援助を受けたことを付記する。

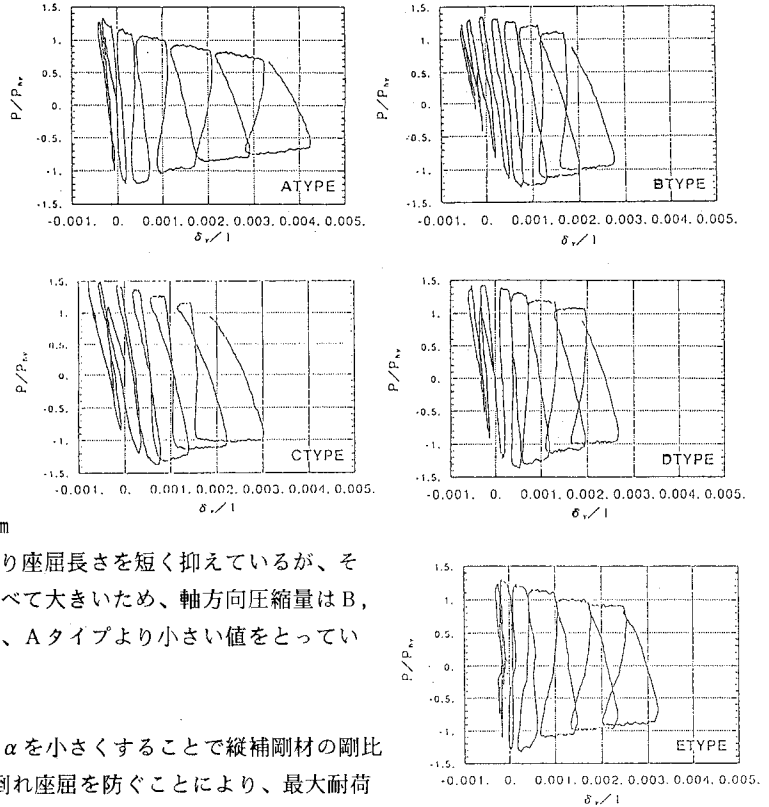


図9 水平荷重—鉛直変位