

(124) 中埋めコンクリートを有する鋼製橋脚の地震時保有水平耐力に関する実験

建設省土木研究所 川島一彦  
 " 杉田秀樹  
 首都高速道路公団 ○木暮 深  
 新日本技研(株) 竹名興英

1. まえがき

都市内高速道路に多用されている鋼製橋脚は、多くの場合、既存の道路に近接して橋脚が設置されるので、自動車が衝突しても変形しないように、橋脚下部のボックス内部にコンクリートが充填されている。今までの予備的検討で、鋼製橋脚の繰返し大変形に対する破壊性状は、中埋めコンクリートの有る橋脚下部とそれが無い上部あるいは中埋めコンクリートの無い橋脚とは異なることが確認されている。本論文は、中埋めコンクリートの有る橋脚の下部の破壊性状を実験的に検討した結果を報告する。

2. 実験方法

2.1 供試体

供試体の形状・断面及び実験条件(実験結果も並記)をそれぞれ図-1及び表-1に示す。L供試体及びHL供試体の使用鋼材は、それぞれSM490Y及びSM570である。L1~3は、既存のある橋脚の断面・寸法を約1/3に縮尺したボックス断面供試体で、縦リブの剛比は道路橋示方書の必要剛比の3.11倍である。L4は、断面コーナーを円形にした供試体で、それ以外はL1等と同じである。HL1~4は、ボックス断面供試体で、中埋め部分の縦リブの剛比は道路橋示方書の必要剛比の1.29倍で、中埋めコンクリートの無い上部では局部座屈による耐力の低下がないように、横リブ間隔を下部の半分にした。HL5は、円断面供試体で、縦リブは無い。構造ディテールは実際のものでできるだけ再現した。図-2に主板とベースプレートとの取り付け部の詳細を示す。このディテールは首都高速道路で今まで最も用いられたものである。L1~4では、溶接施工を重視して、スカラップの半径を30mmとしたが、HL1~4では縦リブの断面欠損を少なくにする

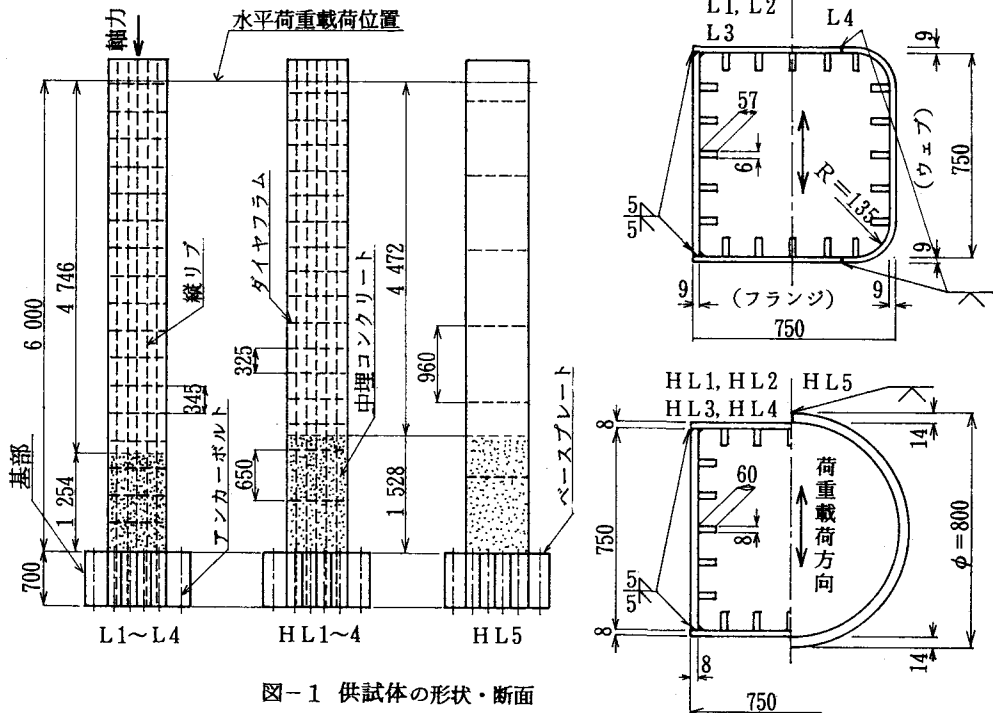


図-1 供試体の形状・断面

表-1 実験条件と結果

試験体名	断面形状	材質	実験条件		実験結果
			振幅形状	$\delta/\delta_y^*$	繰返し数(等価繰返し数)**
L1	ボックス	SM490Y	一定変位振幅	$\pm 1.44$	320
L2	"	"	"	$\pm 2.98$	16
L3	"	"	実働変位	最大 $\pm 2.65$	(28)
L4	コーナー円	"	一定変位振幅	$\pm 3.12$	17
HL1	ボックス	SM570	"	$\pm 1.41$	141
HL2	"	"	"	$\pm 2.29$	19
HL3	"	"	"	$\pm 1.72$	63
HL4	"	"	多段増加変位	最大 $\pm 2.36$	(16以上)
HL5	円	"	一定変位振幅	$\pm 1.79$	167

注) 1. \* の $\delta$ は最大変位、 $\delta_y$ は降伏変位  
 2. \*\* の繰返し数は初期荷重Pが90%に低下した時の繰返し数

よる応力が公称降伏応力 (SM490Y : 3600kgf/cm<sup>2</sup>, SM570 : 4600kgf/cm<sup>2</sup>) に達したときの変位を降伏変位  $\delta_y$  とすると、HL 4は $\pm 0.5 \delta_y$ から $\pm 0.5 \delta_y$ ピッチで多段増加荷重を行なった。まず、 $\pm 0.5 \delta_y$ で1サイクル行ない、 $\pm 1 \delta_y$ 以降は同じ変位で10サイクル荷重し、破断しなければ変位を増加させた。亀裂の発生と進展を調査するために、繰返し荷重中に、磁粉探傷法によって亀裂調査を行なった。ひずみ及び変位は、それぞれ塑性域ひずみゲージ及び変位計を用いて測定した。

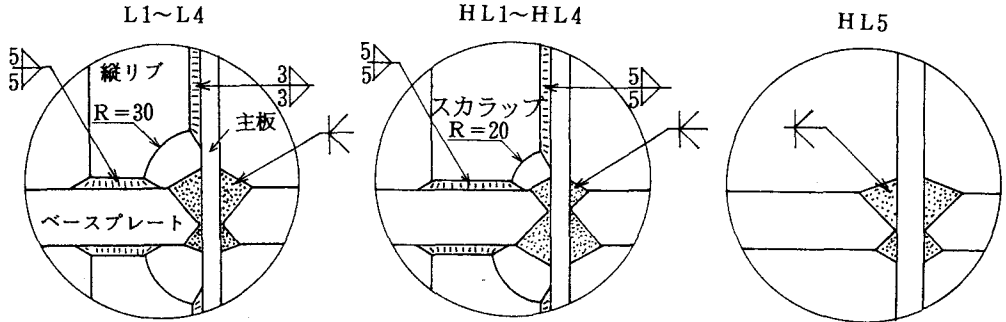


図-2 主板とベースプレートとの取り付け部の詳細

### 3. 実験結果

#### 3.1 破壊性状

図-3に、HL 3の荷重～変位曲線及びベースプレートから325mm離れたフランジ面の荷重～ひずみ曲線を示す。大変形の繰返しに対して、中埋めコンクリートによって補剛板は局部座屈せず、(a)に示すように最終段階に近くなるまで荷重の低下はわずかである。(b)に示すように、中埋めコンクリートが徐々に劣化するので、引張りひずみは徐々に増加するとともに、履歴曲線全体が引張り側に移動していく。最終的には、すべて、ベースプレートと主板の溶接部から発生した疲労亀裂が進展して破断に至る(写真-1、2)。図-4に、円断面のHL 5の亀裂の進展の状況を示す。(b)に示すように、主板とベースプレートの外側の溶接の止端部から亀裂が発生し、最初は柱軸方向に直角に進展し、板厚の約1/3～2/3の間は約45°方向に進展し、約2/3からはまた直角方向に進展して板厚を貫通した。途中45°方向に進展した理由は、せん断力の影響と考えられる。外側の溶接止端部を外観から見ると、(a)に示すように、最初、縦方向溶接とまじわった位置でかつ中心軸から最も遠い位置に、12サイクル目に亀裂が発見され、次に、反対側の縦方向の溶接のない位置に、28サイクル目に亀裂が発見された。それから円周方向に、中心軸に向かって連続的に進展した。縦方向溶接の有る側に早く亀裂が発生したのは、縦方向溶接による大きな引張り残留応力、及び溶接の交差による止端形状の悪化による応力集中の増加の影響と考えられる。図-5に、ボックス断面供

ために20mmとした。

#### 2.2 荷重方法と測定方法

供試体の基部をアンカーボルトで反力壁に固定し、柱上端に鉛直方向に一定の軸力を載荷する。このときの応力は、許容応力の約10%である。この状態で、破断するまで水平方向加振機を用いて柱頂部に変位制御で正負交番荷重した。L 1、2、4及びHL 1～3、5は完全両振り荷重で、L 3は別途行なった振動台試験の応答変位に一定の倍率を掛けた変位を載荷した。載荷位置の変位を $\delta$ 、中埋めコンクリートの合成作用と軸力による応力を無視して柱根元部のフランジの弾性解析に

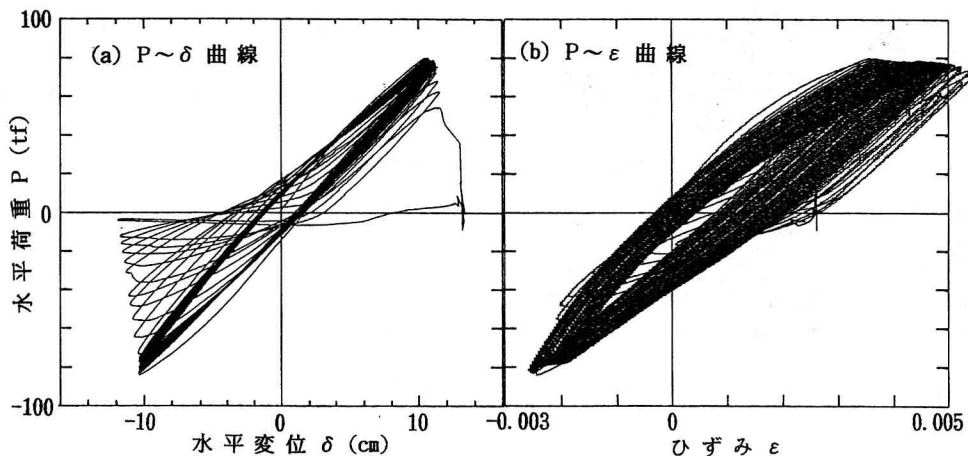
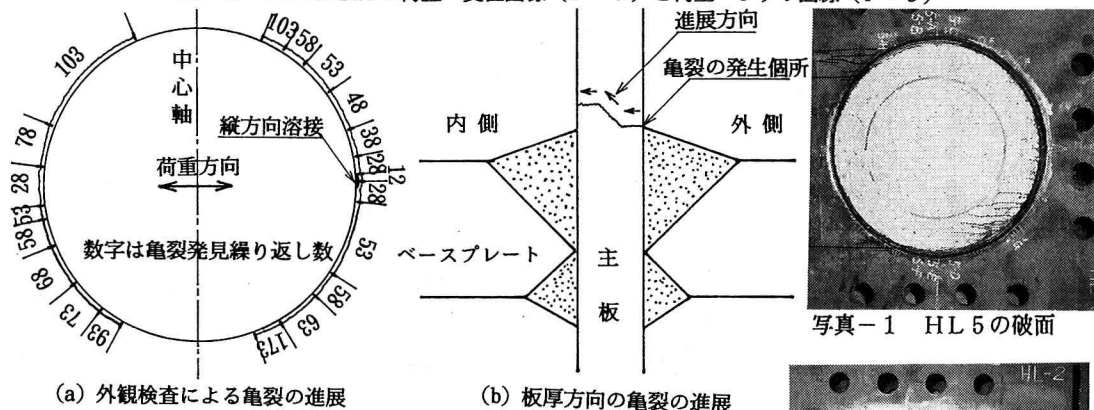


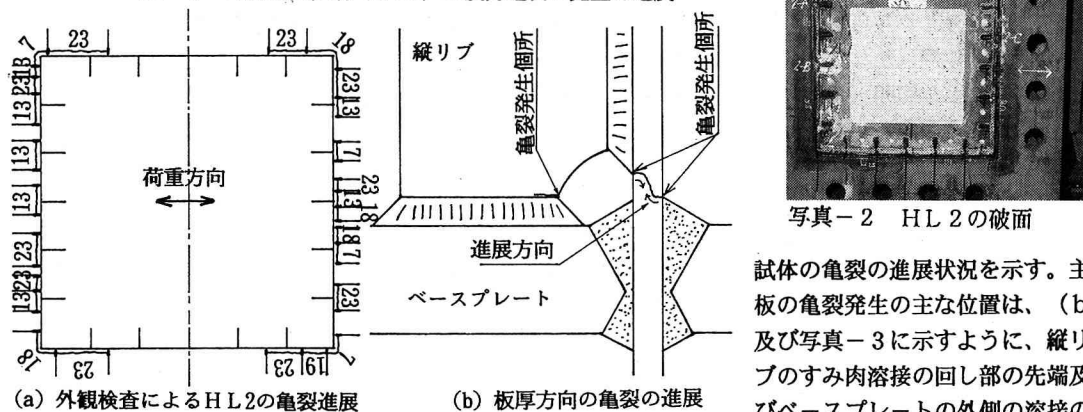
図-3 HL3供験体の荷重～変位曲線 ( $P \sim \delta$ ) と荷重～ひずみ曲線 ( $P \sim \epsilon$ )



(a) 外観検査による亀裂の進展

(b) 板厚方向の亀裂の進展

図-4 円断面供試体 (HL5) の疲労亀裂の発生と進展



(a) 外観検査によるHL2の亀裂進展

(b) 板厚方向の亀裂の進展

図-5 ボックス断面供験体の疲労亀裂の発生と進展

進展面が近い場合は、(b) 及び写真-3 のように2種類の亀裂が中央付近で合体する。それらの進展面が遠い場合は、両方の亀裂が発生しても、合体せずどちらかの片方の亀裂が先に板厚を貫通する。また、主板とベースプレートの内側の溶接の止端部から発生した亀裂が、外側の溶接止端部から発生した亀裂と合体する場合もある。外側の溶接止端部を外観から見ると、(a) に示すように、ボックス断面コーナーと縦リブ取り付け位置に、亀裂が最初に発生している。これは、明らかに角溶接と縦リブのすみ肉溶接による引張り残

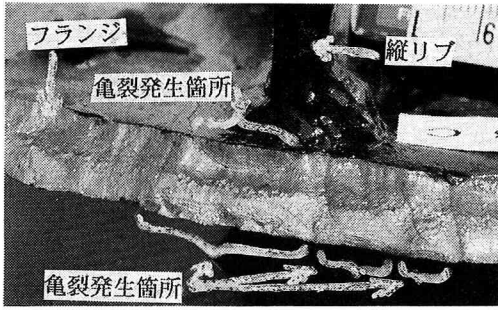


写真-3 合体した亀裂

留応力の影響である。縦リブとベースプレートのすみ肉溶接は、(b)のようにスカラップ側の板厚コーナーの止端部から亀裂が進展する。しかし、L供試体ではその溶接の一部に溶け込み不良が認められた。この溶接は、柱のボックスが構成されたあとに、溶接工がボックス内に入って施工するので、その施工環境はかなり厳しい。したがって、その品質管理は十分注意しなければならない。

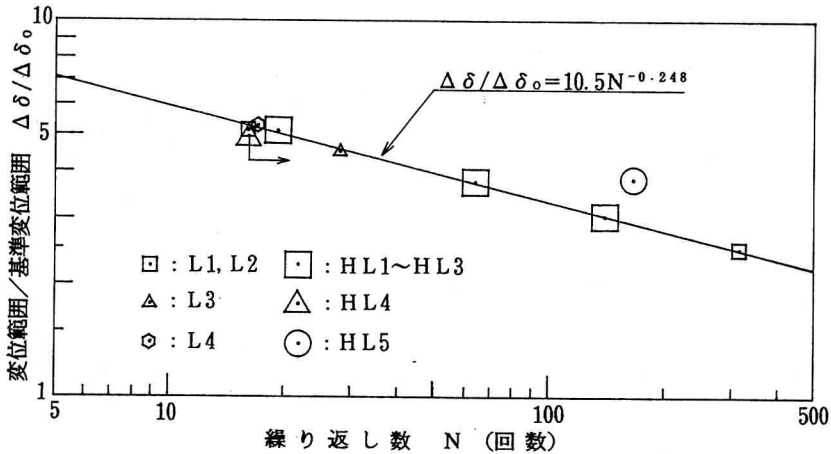


図-6 変位範囲と寿命の関係 (寿命曲線)

### 3.2 寿命曲線

1サイクル目は、鋼は動的応力～ひずみ関係ではなく、中埋めコンクリートはその劣化状態が安定していないので、2サイクル目の荷重を初期荷重とする。初期荷重の90%になるまでは荷重の低下速度は緩やかであるが、それ以降はかなり急激である。そこで、荷重が90%になったときの繰返し数を寿命とした。寿命を表-1に、変位範囲(変位全振幅)と寿命の関係を図-6に示す。変位範囲は、寿命の1/2の繰返し数のときの値で代表する。変位範囲を基準変位範囲(柱根元部のフランジのひずみが適当な基準ひずみ、ここでは0.001(応力で2100kgf/cm<sup>2</sup>)になったときの荷重載荷位置の弾性解析による水平変位の2倍)で無次元化した。基準変位の計算では、中埋めコンクリートを無視した。柱根元部のフランジの応力計算では、縦リブのスカラップの孔は控除している。図に示した直線(寿命曲線)は、ボックス断面供試体の完全両振り載荷した実験結果について最小二乗法で求めたものである。変動変位試験を行なったL3とHL4は、変位範囲についてレインフロー法によって頻度分布解析し、線形被害則によって最大変位範囲に対して等価繰返し数を求め、それを寿命とした。ボックス供試体は、材質、一定変位振幅、変動変位にかかわらず、いずれも両対数で直線上によくのる。円断面は、ボックス断面に比較して寿命が長い。これは、円断面の方が縦リブがないために応力集中部が少ないことと断面効率が悪いためと考えられる。

### 4. 結論

- (1) 中埋めコンクリートの有る鋼製橋脚は、大変形繰返しに対して、中埋めの有る部分の補剛板は局部座屈せず、すべて、ベースプレートと主板の溶接部でローサイクル疲労破断する。
- (2) 変位範囲と寿命は、材質にかかわらず両対数上で直線上によくのる。
- (3) 実働変位のような変動変位に対しても、線形被害則を用いれば寿命を精度よく推定することができる。
- (4) 円断面橋脚は、ボックス断面橋脚に比較して寿命が長い。