

(68) 道路橋支承の耐震性に関する模型衝突実験

建設省土木研究所 正員 上田 治
 同上 正員 萩原良二
 日本鋼管(株) 正員 津村直宜

1. まえがき

1978年宮城県沖地震では、道路橋にも数多くの被害を生じたが、中でも上部工と下部工の接点である支承に破損例が目立ったのが特徴的であった。ひとくちに支承の破損と言ってもその形態は支承形式によって様々である。しかし、支承本体についてみる限り、線支承や支承板支承における下省突起部と上省ストッパー(図1)の破損がおおむね、支承の主要な破損形態といえることができる。

これらの部材は、もともと上部工の地震時水平力を支持できるように設計されているのであるが、部材間に存在する遊間のために地震時に衝突が起って、荷重が衝撃的に作用している可能性が高い。この荷重の衝撃効果は、現在、支承の破損原因のひとつと考えられているが、その特性については十分把握されていない。

本実験は、このような衝突をうける支承部材に着目して行なった衝撃破壊実験であり、下省突起部に作用する地震時荷重の衝撃効果を評価しようと試みたものである。

2. 実験方法

供試体は、日本道路協会標準すべり支承BP-A106の下省突起部を、幾何学的に相似させた部分模型とした(図2)。表1に実験で用いた模型の種類と縮尺を示す。これらのうちA1とA2は、Aの突起厚のみを増加させたものであって、実物省との相似関係はない。

供試体の材質は、実物と同様にJIS5101炭素鋼鋳鋼品3種SC46を用い、実物省と同じ温度条件で熱処理をほどこしている。

供試体への载荷は、図3に示すような装置を用いて行なった。この装置では、重錘を積載した台車をスプリングの力によって発射し、台車と一体となった載荷板を供試体に衝突させる。衝突の際に生じる衝撃力は、台車と載荷板の間に取りつけたロードセルと、台車後尾に取りつけた加速度計によって測定する。

実験では、重錘重量と衝突速度をパラメータとして、支承

Table 1

供試体	縮尺	突起厚(mm)
A	15/100	5.25
A1	—	6.25
A2	—	7.25
B	20/100	7.10
C	25/100	8.75

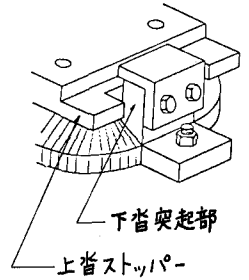


Fig. 1

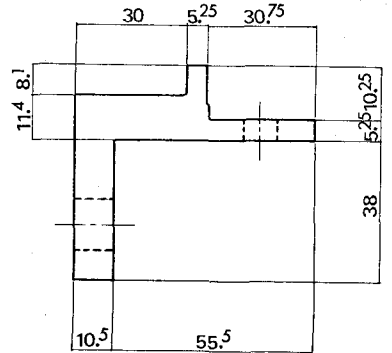
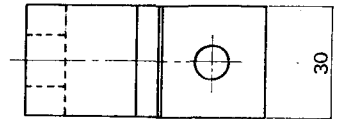


Fig. 2 A SPECIMEN

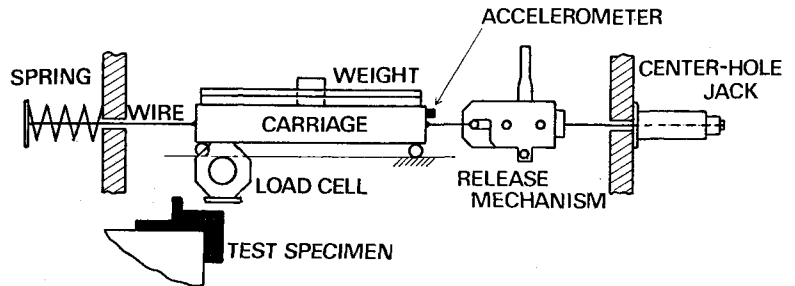


Fig. 3 SHOCK TESTING MACHINE

突起部に作用する衝撃荷重の特性を調査し、さらに供試体 A, A1, A2 を用いて突起部の衝撃破断特性についても調べた。

3. 実験結果

(1). 静的耐力

供試体 A, B, C 各3体ずつに静的載荷して求めた突起の静的耐力を表2に示す。

相似比に従って実物換算した突起耐力は、3種類の供試体ともよく一致している。

Table 2

供試体	静的耐力 (ton)	
	測定値	実物換算値
A	3.9	173
B	6.9	174
C	11.5	184

(2). 衝撃波形

衝突の際に電磁オシログラフに記録された衝撃波形の一例を図4に示す。測定された衝撃力の波形は、高調波成分の影響が少ない Half-sine 形状を示している。このことから、衝突によって発生する衝撃力の値は、1自由度の力学系として求められるのではないかと考えられた。

(3). 衝撃力

衝突系を支配する運動方程式として次式が考えられる。

$$\frac{W}{g} \ddot{x} + Kx = 0 \quad (1)$$

ここで、 W ; 衝突重量, g ; 重力加速度, x ; 台車変位, K ; 衝突系の剛性である。剛性 K は必ずしも突起の変形剛性だけからは定まらず、一般には衝撃伝達経路に位置する全ての部材剛性に関係するもので、衝突系のマフリの剛性ともいうべきものである。突橋における K の値は、上省、下省突起部、省座などの剛性から定まっていると考えられるが、定量的に不明な点が多いので、本実験では実験条件として特定な値を設定していない。 K を線形と仮定して、初期条件 [$t=0$; $x=0$, $\dot{x}=v$] のもとに式(1)を解くと次のようになる。

$$P = \sqrt{K} \cdot \sqrt{\frac{W}{g}} \cdot v \quad (2)$$

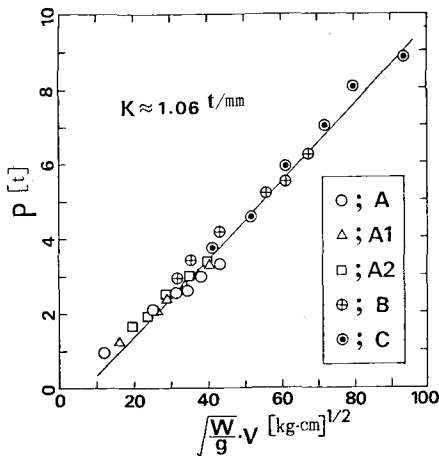
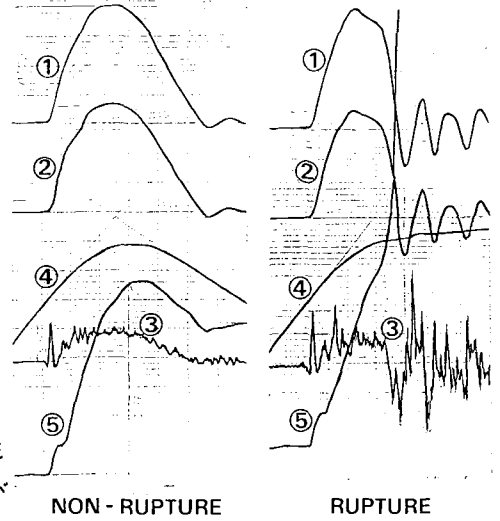


Fig.5 PEAK FORCE



- ①②; IMPACT FORCE
- ③; ACCELERATION
- ④; DISPLACEMENT (CARRIAGE)
- ⑤; " (SPECIMEN)

Fig.4

$$a = \sqrt{K} \cdot \sqrt{\frac{g}{W}} \cdot v \quad (3)$$

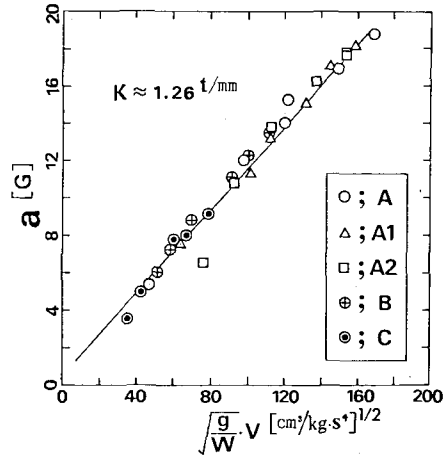


Fig.6 PEAK ACCELERATION

ここで、 P ；最大衝撃力， a ；最大加速度， v ；衝突速度である。

実際、衝撃波形のピーク値を読みとってプロットすると、図5、6のようになり、測定結果は供試体の種類にかかわらず、一定の K に対して式(2)、(3)を満足している。同図から求められる K の値は約 1 t/mm 強であるが、この値は、静的載荷時に得られた荷重へ台車変位曲線の初期剛性とほぼ一致している。実験結果において、供試体の種類すなわち突起部の剛性に無関係に K の値が定まっていることは、この実験に用いた装置の剛性が、突起部の剛性に比べて小さかったことを示している。

(4). 衝撃と運動量

衝突時の衝撃 I は、一般に図7に示すような衝撃力波形の積分値として定義される。衝撃力波形をプランメータで積分した結果を、衝突時の運動量に対してプロットすると図8のようになる。衝撃の値は運動量に比例して増加していくが、突起断面に破断が生じると、不連続的に減少する傾向を示す。

衝突速度とはね返り速度の比として反発係数 e を定義すると、衝撃値 I' を次式によっても求めることができる。

$$I' = \frac{W}{g} v (1 + e) \quad (4)$$

I と I' を比較した結果を図9に示すが、両者はよく一致している。

(5). 破断のパラメータ

図10と11に、供試体Aにおける運動エネルギーと最大衝撃力の関係を示す。ここで衝撃力は突起の静的耐力 P_{SB} によって無次元化されている。供試体の破断は、衝突する重錘の運動エネルギーが限界値 E_{cr} 以上に達した時に起り、その時生じる衝撃力 P_{cr} は運動エネルギーにかかわらずほぼ一定であることがわかる。

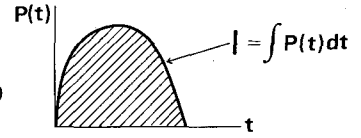


Fig.7

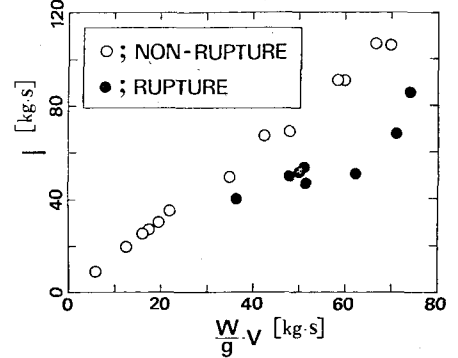


Fig.8 IMPULSE (A)

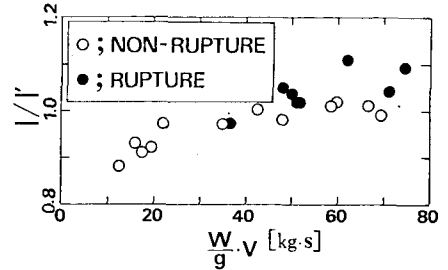


Fig.9 COMPARISON I&I' (A)

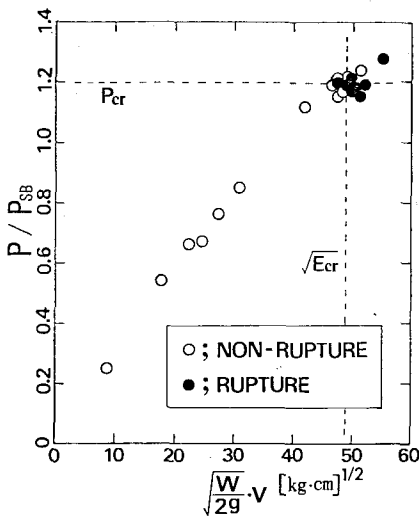


Fig.10 CRITICAL FORCE (A)

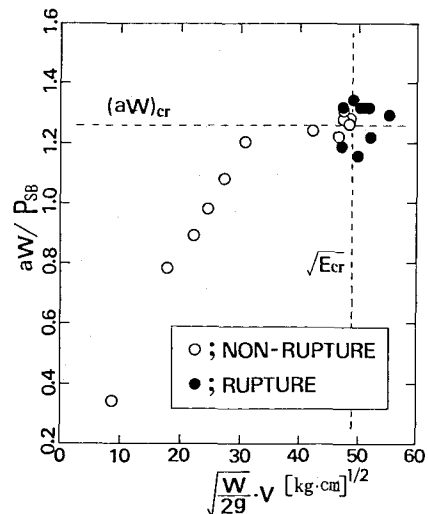


Fig.11 CRITICAL ACCELERATION

図12は、図10と同様なグラフを供試体A, A1, A2についてまとめて描いたものである。同一な実験条件の下では、各突起部の断面に対して、それぞれ固有な E_{cr} と P_{cr} が定まることがわかる。

突起部の破断を決定するパラメータが次のエネルギー式を満足することから、実験で得られた供試体Aの破断限界を、衝突速度 v と衝突重量比 W/W_0 の座標上で、図13の実線のように表わすことができる。

$$\frac{1}{2} \frac{W}{W_0} v^2 = E_{cr} \quad (5)$$

ここで、 W_0 は省の設計死荷重反力に相当する重量である。突橋で起こると考えられている衝突速度が、だいたい20~40 cm/sの範囲であるのに比べて、この実験結果ははるかに大きな破断限界を与えている。図13の破線は、供試体を静的に破断させるのに要したエネルギーレベルである。実線と破線の差に相当するエネルギーは、衝突の際に起こる実験装置の弾性変形のために費やされている。本実験において突起部の破断限界が予想よりも高かったのは、装置の弾性変形によるエネルギー吸収が大きかったからと考えられる。

このように、式(5)における限界値 E_{cr} は、突起部の断面だけではなく、衝突系のマクロ的剛性 K の関数にもなっている。このため、突橋において支承の耐震性を評価する際にも、あらかじめ各橋梁形式におけるマクロ的剛性 K の傾向を把握してから、これを行なっていく必要があると思われる。

(6). 破断モード

実験に用いた供試体はすべて延性破壊によって破断している。震害をうけた下沓突起部が脆性破壊で破損していることを考えると、実物と模型の破断特性は明らかに異なるものと言わなければならない。このような結果を招く原因としては、およそ次の3つが考えられる。

- 模型に与えられた衝撃が、比較的軟らかい衝撃であったこと。
- 模型と実物では熱容量が異なるので、熱処理の効果が材質について同等でないこと。
- 破壊に関して模型の寸法効果が存在すること。

これらのうち、b)とc)は模型実験を行なう以上、ある程度避けられないことである。それゆえ、本実験でこのような結果を招いたということは、模型実験による破壊の定量的評価が、相当困難であることを示している。

4. あとがき

支承が震害をうける原因のひとつと考えられている。地震時荷重の衝撃効果を調査するために、下沓突起部の模型衝突実験を行なった。その結果、現象としての定性的な傾向はほぼ把握できたが、突橋における状態が不明確なことや、模型実験にかせられた制約条件のために、現象の定量的な評価は十分に行なえなかった。現在の段階では、まだ技術的に困難な点が多いので、これに対する評価を早急に行なうことは容易ではないが、今後、支承の耐震性の検討を進めていくためには欠くことのできない問題と考えられる。

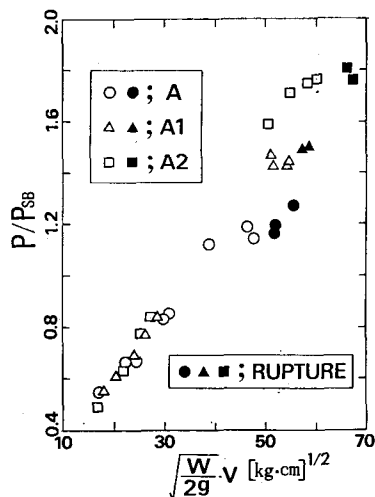


Fig.12 CRITICAL FORCE

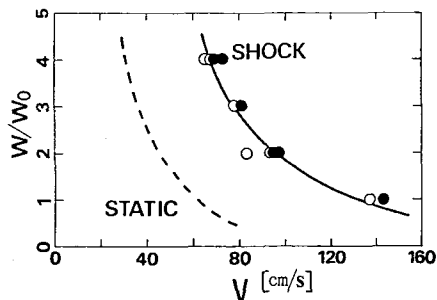


Fig.13 CRITICAL ENERGY (A)