

(I - 46) 重錘衝突を受ける PC はりの衝撃応答に関する一考察

防衛大学校 学生員○竹本憲介 正会員 香月 智 フェロー 石川信隆

1. 緒 言

衝撃荷重を受けるはり部材の破壊限界衝突エネルギー、すなわち衝突物の限界質量や限界速度を衝突実験で求めるには、衝突エネルギーを逐次増加させながらはさみ込み法で求める必要があり、多量の供試体を消費する問題点がある。そこで本研究は、はりの高速変形解析を行って得られる破壊限界吸収エネルギーを用いて、破壊限界衝突エネルギーを求める手法を提案し、予め行った実験結果によって比較検討したものである。

2. 破壊限界衝突エネルギーの推定法

図-1 のようなはりに対する落下衝突実験において、歪エネルギーと運動エネルギー以外のエネルギー消費を無視できるものとする、次のエネルギー保存則が成り立つ。

$$U = E_L + E_B = U^0 \quad (1a)$$

$$U^0 = mgH^0 \quad (1b)$$

ここで、 U :重錘のポテンシャルエネルギー(衝突エネルギー)、 U^0 :重錘の初期ポテンシャルエネルギー、 E_L :局部または緩衝材の歪エネルギー、 E_B :はりの変形歪エネルギー、 m :重錘の質量、 g :重力加速度、 H^0 :初期落下高さ。いま仮に、 E_L が E_B に対して十分に小さく無視できる場合には次式となる。

$$E_B = U_0 \quad (2)$$

ところで、高速変形解析によるはりの抵抗力と変位の関係が図-2 のようにモデル化できるものとすると破壊限界吸収エネルギー E_f は次式によって与えられる。

$$E_f = \int_0^{\delta_f} R \, d\delta \quad (3)$$

ここで、 E_f :破壊限界エネルギー、 δ_f :破壊限界変位。

また、一度の落下で、はりが破壊に至らない場合における最大変位までの吸収エネルギー E_B は、次式となる。

$$E_B = \int_0^{\delta_m} R \, d\delta \quad (4)$$

ここで、 δ_m :最大変形量。

この場合はり内部においてなされた塑性変形エネルギーを損傷エネルギー E_d とすると、次式が得られる。

$$E_d = E_B - E_r \quad (5)$$

ここで、 E_r :復元エネルギー($= -\int_{\delta_m}^{\delta_f} R \, d\delta$)。

そこで、過去において数回の衝突履歴を受けたはりの累積損傷エネルギーは、次式によって求められる。

$$(E_d)_{np} = \sum_{i=1}^{np} (E_{B_i} - E_{r_i}) = \sum_{i=1}^{np} (U_i^0 - E_{r_i}) \quad (6)$$

ここで、 np :過去の衝突回数。

よって、 $np+1$ 回目における残存破壊限界衝突エネルギー U_{np+1}^f は残存限界吸収エネルギー($E_f - (E_d)_{np}$)に等しい。

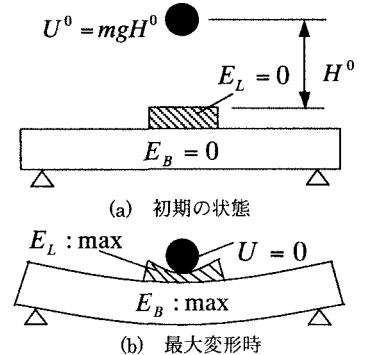


図-1 エネルギー関係

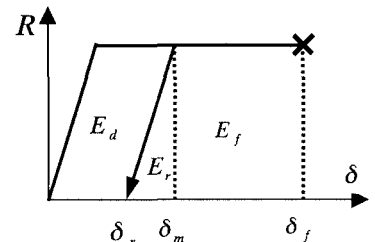


図-2 はりの抵抗力～変位関係

すなわち、

$$U_{np+1}^f = E_f - (E_d)_{np} \quad (7)$$

これより、繰り返し落下衝突実験では、残存限界落下高さ H_{np+1}^f が次式によって与えられる。

$$H_{np+1}^f = \frac{U_{np+1}^f}{mg} \quad (8)$$

3. 実験と推定結果の考察

実験は、落錘式衝撃実験装置を用い、図-3 に示すような質量 1ton の重錘を支間中央に①一度だけ、②落下高を逐次増やして繰り返し落下衝突させる 2 種類の実験を行った。重錘の先端は半円筒形状であり、重錘衝突面には衝撃力を緩和させるため厚さ 15cm、長さ 40cm、幅 15cm の EPP を用いた。供試体寸法は高さ 25cm、幅 20cm、支間長 200cm の PC はりである。

この実験結果に対して、図-2 に示したはりの抵抗

キーワード: 衝撃応答、衝突実験、破壊限界衝突エネルギー、破壊限界落下高さ

連絡先: 〒239-8686 神奈川県横浜須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 土木工学科 Tel0468-41-3810(3518) FAX0468-44-5913

力～変位関係および破壊限界エネルギーを求めるため、図-4 に示すようなはりモデルの中央を高速速度Vで強制変位を与える解析を行った。なお、各はり要素の曲げモーメント～回転角関係は、断面分割法によって求めた曲げモーメント～曲率関係を利用して図-5 のようにして与える。さらに、断面分割法では、PC 鋼材、鉄筋、コンクリートの各材料に対して、ひずみ速度効果および拘束効果を考慮した構成則を用いた^{1), 2)}。

図-6 に得られた抵抗力～変位関係を示す。参考までに载荷速度を遅くした静的载荷解析の結果もあわせて示している。図-6 より求めたはりの破壊限界エネルギーは $966\text{kN}\cdot\text{cm}$ である。よって、推定破壊限界落下高さ H_1^f は 98.6cm となる。参考までに図-7 には、落下高 200cm による単一载荷衝突実験での重錘衝撃力～変位関係を示す。実験結果の関係は、振動の影響が大きく本解析のような静的抵抗力～変位関係とは異なったものとなる。またこのケースでは、はりには PC 鋼線が破断したにもかかわらず、図中のどの部分で破断したのかは判定が困難である。

図-8 に提案する推定限界落下高と実験結果を示す。これより、まず一度だけ重錘を落下させた場合、供試体 1 では落下高さ 75cm から落下させたが、破壊限界落下高さ $H_1^f (=98.6\text{cm})$ より小さく、予想通り供試体は破壊していない。これに対し、供試体 2, 3 ではそれぞれ落下高さが 150cm , 200cm と推定破壊限界落下高さ H_1^f より大きく、推定通り供試体が破壊に至っている。

次に、落下高さを逐次に増やして繰り返し载荷した場合、供試体 4 では、まず、 50cm から落下させると予想通り破壊しないが、その累積損傷エネルギーは $442\text{kN}\cdot\text{cm}$ となり、残存限界衝突エネルギーが減少するため、推定残存限界落下高が 53.5cm と減少する。よって、 100cm から落下させた実験結果は予想通り破壊している。供試体 5 についても同様に 5cm , 25cm , 50cm と落下高さを増加させて、繰り返し载荷をすると累積損傷エネルギーが増加するため、推定残存限界落下高は、 98.6 , 98.5 , 78.4 , 33.3 と減少していくのに対して、 75cm の高さから落下させると推定通りはりには破壊に至っている。この 75cm では、供試体 1 の単一载荷では、破壊しなかったものであり、本推定法が、累積損傷効果を良好に評価していることがわかる。

4. 結 言

本研究は、入力エネルギーと消費エネルギーの釣り合い条件に累積損傷エネルギーの効果を考慮することにより、繰り返し衝突実験をも含めた残存限界衝突エネルギーの簡易な推定法を提案したものである。提案法による推定値は、別途行った PC はりの単一および漸増载荷実験結果を良好に推定できた。

参考文献

- 1) 高橋芳彦, 大野友則, 太田俊昭, 日野伸一: 衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリートはりの弾塑性挙動に及ぼす材料のひずみ速度効果, 構造工学論文集, vol.37A, pp.1567~1580, 1991 年 3 月。
- 2) 園田佳臣, 小林直行, 石川信隆, 佐藤紘志: ひずみ速度効果を考慮した PC はり部材の動的曲げ耐力と変形性能, 構造工学論文集, vol.38A, pp.1455~1465, 1992 年 3 月

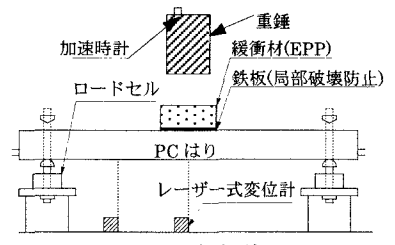


図-3 実験要領

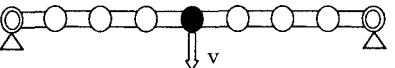


図-4 高速载荷解析モデル

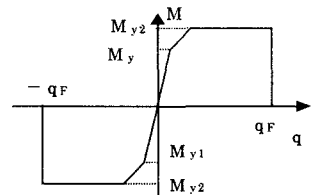


図-5 はり要素の曲げモーメント～回転角関係

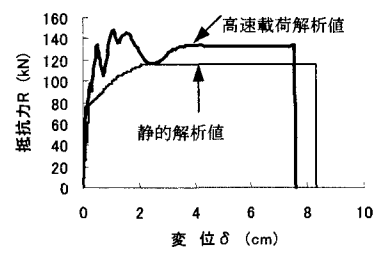


図-6 抵抗力～変位関係

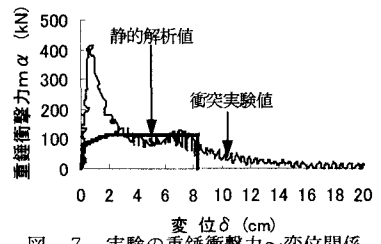


図-7 実験の重錘衝撃力～変位関係 (供試体 3)

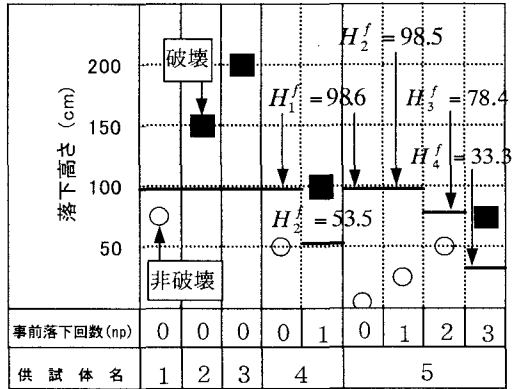


図-8 実験結果に対する破壊推定結果