履歴衝突を考慮した PC はりの破壊限界落下高さの推定法

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

)

(4)

(6)

1.緒 言

耐衝撃部材の性能,特にその破壊限界を知る手段として重錘落下衝突実験を用い ることが多い.これには,単一載荷と繰り返し載荷があるが,限界落下高さを求め るには,単一載荷では多くの供試体を消費し,繰り返し載荷では履歴荷重に依存す る難点がある.そこで本研究は,はりの高速変形解析を行い,得られる動的限界吸 収エネルギーを基に履歴衝突をも考慮した限界落下高さを推定する手法を提案し, 実験結果との比較により考察したものである.

2.限界落下高さの推定式

図-1 のようなはりに対する重錘落下衝突実験において,ひずみエネルギーと運動 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と,次のエネルギー保存 則が成立する.

$$E = U_L + U_B = const \tag{1}$$

ここで,E: 重錘のポテンシャルエネルギー(衝突エネルギー), U_L : 局部または 緩衝材のエネルギー, U_R : はりの変形吸収エネルギー.

実験開始時には,重錘のポテンシャルエネルギーが最大で,ひずみエネルギーは 0であることから,実験中の保存エネルギーは,次のようになる.

$$E = U_L + U_B = E_0 \ (= mgH^0) \tag{2}$$

ここで,m:重錘の質量,g:重力加速度, H^0 :初期落下高さ.

続いて,落下後のはりの最大変位状態において,重錘の速度が0になると仮定すると,図-1(b)のような変形状態となり,エネルギーの釣り合いは次のようになる. $U_{n}+U_{r}=E_{n}-E_{r}, E_{r}=-mg\delta_{m}$ (3)

 $U_B + U_L = E_0 - E_e, E_e = -mg\delta_m$ (3) ここで, E_e : 重錘の速度が0の時のポテンシャルエネルギー, δ_m : 最大変形量. いま仮に, U_L が U_B に対して, また, E_e が E_0 に対して十分に小さく無視できる場合に式(3)は次式となる.

$$U_{B} = E_{0}$$

ところで,はりの抵抗力と変位の関係を図-2のようにモデル化できるものとすると,限界吸収エネルギー U_{ℓ} は、次式となる.

$$U_{f} = \int_{0}^{\delta_{f}} R \cdot d\delta \tag{5}$$

ここで, U_f :破壊限界吸収エネルギー, 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U_gは,次式となる.

$$U_{B} = \int_{0}^{\delta_{m}} R \cdot d\delta$$

この時に,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 U_d とすると,次式が得られる.

 $U_{d} = U_{B} - U_{r}$ ただし, U_{r} :復元エネルギー $(= -\int_{\delta_{\pi}}^{\delta_{r}} R \cdot d\delta)$.

そこで,過去において数回の衝突履歴を受けたはりの蓄積損傷エネルギーは,次 式によって求められる.

$$(U_{d})_{np} = \sum_{i=1}^{np} (U_{Bi} - U_{ri}) = \sum_{i=1}^{np} (E_{0i} - U_{ri})$$

ただし, np:過去の衝突回数.

よって, np+1回目における破壊限界衝突エネルギーは破壊限界吸収エネルギーから蓄積損傷エネルギーを差し引く キーワード 履歴衝突,破壊限界吸収エネルギー,破壊限界落下高,高速載荷解析 連絡先 〒289-8686 神奈川県横須賀市走水1-10-20 電話(0468)41-3810 FAX(0468)44-5913









図-2 はりの抵抗力~変位関係



衝突実験





$$(E_{0}^{f})_{np+1} = U_{f} - (U_{d})_{np}$$

すなわち,落下衝突実験では,限界落下高さ $_{H^{f}_{m+1}}$ が次式によって与えられる.

$$H_{np+1}^{f} = \frac{(E_{0}^{f})_{np+1}}{mg}$$
(10)

(9)

3.実験と推定結果の考察

PCはりの重錘落下衝突実験は,図-3に示すように落錘式衝撃実験装置を用い,重 錘(10kN)をはりのスパン中央に単一載荷と繰り返し載荷を行った.載荷点部にはEPP の緩衝材(厚さ15cm,長さ40cm,幅15cm)を設置した.これは,はりに伝達される荷 重を分散させ,局部破壊を防止するためである.また,供試体は高さ25cm,幅15cm, 支間長200cmのボンド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 デルの中央を高速度Vで強制変位を与える高速変形解析を行った.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のようにして与えた.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 にボンドPCはりに落下高さ200cmの単一載荷による重錘衝撃力~変位関係を 示す.比較のため静的実験におけるはりの抵抗力~変位関係も示す.最大重錘衝撃力 は静的実験と比較すると約4倍にも達しており,はりの抵抗力とみなすには奇異な値 と形状を示し,どこで破壊したのか判定することは困難である.

図-7 に高速変形解析の抵抗力の推定曲線を示す.比較のために,静的実験の抵抗力 も示す.高速変形解析における抵抗力は,静的の約1.1 倍となり,良く似た抵抗曲線 が得られ,変位約7cmでPC鋼線の破断を迎える.この破壊限界エネルギーは966kN・ cmとなる.

図-8 に推定限界落下高さと実験結果の比較を示す.供試体1では落下高さ75cmの 単一載荷実験を行っているが,これは推定破壊限界落下高 H_{l}^{f} (=98.6cm)より小さく, 供試体は破壊していない.また,供試体2,3ではそれぞれ落下高さを200,150cmと しているが,これらは H_{l}^{f} より大きく,供試体が破壊に至っている.

次に,繰り返し載荷の供試体4では,まず50cmから落下衝突させた.この累積損 傷エネルギーは442kN・cmとなり,残存限界衝突エネルギーが減少するため,推定限

界落下高さが 53.5cm と減少する.よって,次の 100cm からの落下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 5,25,50cm と繰り返し載荷をすると累積損傷エネルギーが 1.0,198,640kN・cm と増加するため,推定限 界落下高は,98.6,98.5,78.4,33.3cm と減少する.最終的に 75cm の高さから落下させると推定通り破壊に至る.こ の 75cm において供試体 1 の単一載荷では破壊せず,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.

図-9 には,各実験および図-2 で示す抵抗モデルに基づいたエネルギーの消費推定による最大応答変位および残留変 位の履歴を示す.これより,推定値は実験値に比して応答変位および残留変位を過大に推定しているが,安全側の誤差 を含む推定となる.

4.結 言

本研究は, PCはりの高速変形解析を行い, その抵抗力~変位関係を用いて, 繰り返し落下衝突実験における履歴衝突の損傷効果をも考慮した限界落下高さを推定する手法を提案した.提案法による推定値は, 別途行った PCはりの単 一および繰り返し載荷実験の全ての実験結果について限界衝突落下高さを良好に推定することができた.

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..3.

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, 1992.3.

