

V-281

鉄筋コンクリート橋脚の履歴吸収エネルギーに及ぼす損傷度の影響

清水建設技術研究所 正会員 滝本和志

1. はじめに

鉄筋コンクリート（以下RC）橋脚が地震力を受けた場合の損傷度やRCまたは鋼板巻き立て補強工法による補強効果を表す指標として、履歴吸収エネルギーが有効と考えられる。本研究では、壁式橋脚モデルの繰り返し載荷実験結果¹⁾を用いて、損傷度が履歴吸収エネルギーに及ぼす影響を検討した。また、エネルギー吸収性能の低下度合いと累積吸収エネルギーから、RCおよび鋼板巻き立て補強試験体の補強効果の評価を試みた。

2. 実験概要

試験体は、断面150cm×50cm、高さ250cmの壁式橋脚模型、合計6体で、主鉄筋にはSD345D16（引張鉄筋比0.50%）を、帯鉄筋にはSD295D6（帯鉄筋比0.04%）を用いている。また、補強鋼板は厚さ2.3mmのSS400である。補強試験体はじん性補強を目的としており、補強部を基礎に定着させていない。表1に試験体の種類を示す。載荷方法は、降伏変位の整数倍の変位振幅においてそれぞれ3回ずつの水平正負繰り返し載荷を、一定軸力（6kgf/cm²）下で実施している。

3. 履歴吸収エネルギー

第*i*サイクル目の履歴曲線で囲まれる面積を履歴吸収エネルギー ΔE_i 、載荷開始から第*n*サイクル終了時までの各サイクルの履歴吸収エネルギーを累積した値を累積吸収エネルギー E_n とすると、累積吸収エネルギーは以下のように表される。

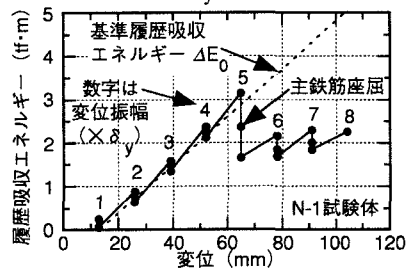
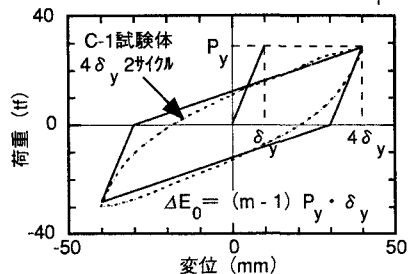
$$E_n = \sum_{i=1}^n \Delta E_i \quad (1)$$

図1にN-1試験体の履歴吸収エネルギー ΔE_i を示す。 ΔE_i は $5\delta_y$ の第1サイクルまで、変位の増加にともない直線的に増加している。主鉄筋の座屈で急激に低下してからは、変位が増加してもほとんど増加していない。破線で示した基準履歴吸収エネルギー ΔE_0 は、図2に示すバイリニア型の履歴曲線で囲まれる面積である。降伏荷重 P_y および降伏変位 δ_y は、各試験体ごとの実測値を用いた。C-1試験体の $4\delta_y$ の第2サイクルにおける履歴曲線を破線で示してある。変位が大きくなると履歴曲線の形状が紡錘形から逆S字形に移行してエネルギー吸収性能が低下している。図1における $6\delta_y$ 以降の両者の差が損傷度による影響と考えられる。 $m\delta_y$ 載荷時における ΔE_0 は(2)式で表される。

表1 試験体の種類

試験体	補強の種類	補強範囲	コンクリート圧縮強度 (kgf/cm ²)	降伏変位 (mm)	平均降伏荷重 (tf)	備考
N-1	無補強	—	348.4	13	27.6	基本部：主鉄筋D16@87.5 帯鉄筋D6@100
C-1	RC巻き立て	全高	264.1	10	27.6	補強部：主鉄筋D16@200 帯鉄筋D10@100
M-1	鋼板巻き立て	全高	374.6	8	28.4	充填材：エポキシ樹脂 3mm
M-2	鋼板巻き立て	基部から1D	287.1	12	27.7	充填材：エポキシ樹脂 3mm
M-3	鋼板巻き立て	全高	332.1	10	28.5	充填材：無収縮モルタル 10mm
M-4	鋼板巻き立て	基部から1D	294.7	12	26.4	鋼板を外側に楕円形に巻き立てて、モルタル充填

Dは断面の短辺の長さ（500mm）

図1 履歴吸収エネルギー ΔE_i 図2 基準履歴吸収エネルギー ΔE_0 算定モデル

キーワード：鉄筋コンクリート橋脚，損傷度，履歴吸収エネルギー，補強，はらみ出し

〒135 東京都江東区越中島3-4-17 TEL 03-3820-5517 FAX 03-3820-5955

$$\Delta E_0 = (m-1) P_y \cdot \delta_y \quad \text{ただし, } m=1,2,3,\dots \quad (2)$$

図-3にM-4試験体の ΔE_i と ΔE_0 の比率を示す。横軸は載荷前における累積吸収エネルギー E_{i-1} である。途中まではほぼ1.0前後を示した後、累積吸収エネルギーの増加にともない直線的に低下している。両者の比率を R_i として、1.0の一定部分と下降部分の2本の直線で表す。下降部分を E_{i-1} の関数として線形回帰すると、第*i*サイクル目における R_i および履歴吸収エネルギー ΔE_i はそれぞれ(3)、(4)式で表される。

$$R_i = -\alpha (E_{i-1} - E_{u0}) \quad \text{ただし, } 0 \leq R_i \leq 1 \quad (3)$$

$$\Delta E_i = R_i \cdot \Delta E_0 \quad (4)$$

α は下降勾配である。 E_{u0} は $R_i=0$ 、すなわちエネルギー吸収性能を失う累積吸収エネルギーの限界値と考えられる。

図-4にM-3試験体の履歴吸収エネルギーの実験値と(4)式で求めた推定値との比較を示す。変位が大きい部分においても実験値をよく推定できている。

図-5にM-2試験体の履歴吸収エネルギーと載荷方向直角面の基部中央におけるはらみ出し量との関係を示す。履歴吸収エネルギーが変位の増加に応じて増加しなくなる点は、はらみ出し量が急激に増加する点に一致している。はらみ出し量の急増は主鉄筋の座屈によると考えられるので、座屈を防いでいる間の履歴吸収エネルギーは、変位の増加にともなって線形的に増加するものと考えられる。補強試験体のはらみ出し量が急増する時点は、無補強試験体に比べて遅い。

4. 補強効果の比較

図-6に各試験体の α 、 E_{u0} および $R_i=0.5$ となる時点の累積吸収エネルギーを E_{u50} として示す。鋼板補強試験体の α は、無補強試験体およびRC補強試験体に比べて小さく、鋼板補強によるエネルギー吸収性能の改善効果が現れている。比較のために最大荷重の80%まで荷重が低下した時点の累積吸収エネルギーの実験値を E_{ue} として図中に示す。 E_{ue} は E_{u50} にほぼ一致している。 ΔE_0 が無損傷の履歴吸収エネルギーを表していると仮定すると、最大荷重の80%まで荷重が低下した時点におけるエネルギー吸収性能は、損傷を受けていない場合の50%程度まで低下しているといえる。補強効果を E_{u50} を用いて比較すると、全高補強した試験体および基部のみを補強したM-2試験体の補強効果は、ほぼ同等である。基部を楕円形鋼板で補強したM-4試験体の補強効果は特に優れている。

5. まとめ

壁式橋脚モデルの繰り返し載荷実験結果を、履歴吸収エネルギーに着目して検討した結果、履歴吸収エネルギーが変位の増加に応じて増加しなくなるのは、主鉄筋の座屈時点であること、座屈後の履歴吸収エネルギーは、載荷直前までに吸収した累積吸収エネルギーに応じて低下することが明らかとなった。また、RCおよび鋼板補強試験体の補強効果を、エネルギー吸収性能が50%まで低下した時点の累積吸収エネルギーにより評価した。

【参考文献】 1) 田村, 緒方, 井ヶ瀬: 壁式橋脚の耐震補強工法に関する検討, 土木学会第51回年次学術講演会講演概要集V, No.532, 1996

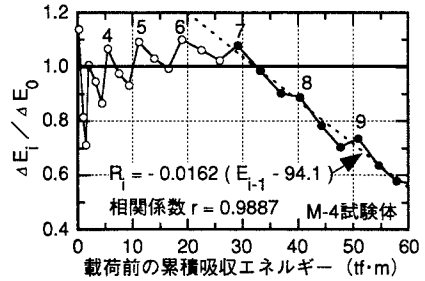


図-3 履歴吸収エネルギーと累積吸収エネルギーの関係

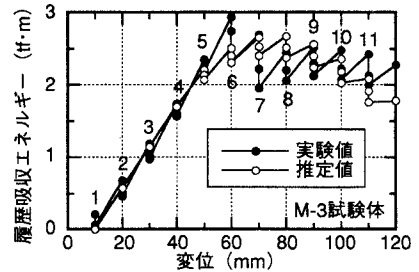


図-4 履歴吸収エネルギーの推定

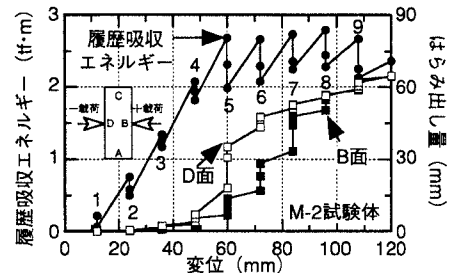


図-5 履歴吸収エネルギーとはらみ出し量の関係

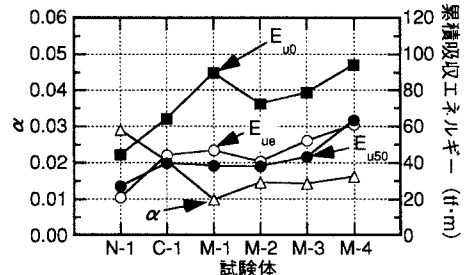


図-6 耐震性能の比較