

# (I-37) 硬質ウレタンを充填した鋼・コンクリート合成はりの衝撃応答解析

防衛大学校 学生員○山本恭嗣 防衛大学校 正 員 園田佳巨  
防衛大学校 正 員 石川信隆 樹宮地鐵工所 正 員 太田貞次

1. 緒言 本研究は、剛体ばねモデルを用いて硬質ウレタンを充填した鋼・コンクリート合成はり（UCはり）部材の衝撃応答解析を行い、先に著者らが行った実験結果<sup>1)・2)</sup>との比較を行ったうえで、RCはりおよびUCはりの衝撃応答特性について、衝撃荷重や変形の状況および破壊状況について解析的に検討を試みたものである。

## 2. 剛体ばねモデルを用いた衝撃応答解析

(1) 解析手法の概要 図-1に示すUCはりおよびRCはり部材を多層化したブロック要素に分割し、その隣接する要素*i*、*j*間は鉛直方向の軸ばね*K<sub>n</sub>*と接線方向のせん断ばね*K<sub>s</sub>*で連結されているものとして図-2に示すようなモデル化を行った。ここで、*K<sub>n</sub>*、*K<sub>s</sub>*は次式で表されるものとする。

$$\left. \begin{aligned} K_n &= E \cdot A / \ell \\ K_s &= G \cdot A / \ell \quad \left( G = \frac{E}{2(1+\nu)} \right) \end{aligned} \right\} (1)$$

ここに、*A*：境界面の面積、 $\ell$ ：重心間距離

*E*：弾性係数、 $\nu$ ：ポアソン比

(2) 基本式 まず図-3に示すように隣接要素*i*、*j*間の位置関係によって相対変位増分が次式によって求められる。

$$\left. \begin{aligned} \Delta U_n &= (\Delta x_i - \Delta x_j) \cos \theta_{ij} + (\Delta y_i - \Delta y_j) \sin \theta_{ij} \\ \Delta U_s &= -(\Delta x_i - \Delta x_j) \sin \theta_{ij} + (\Delta y_i - \Delta y_j) \cos \theta_{ij} \end{aligned} \right\} (2)$$

次に、*i*、*j*要素間の作用力は次式によって算定される。

$$\left. \begin{aligned} \Delta N &= K_n \cdot \Delta U_n \\ \Delta S &= K_s \cdot \Delta U_s \end{aligned} \right\} (3)$$

したがって、*i*要素に加わる*X*軸方向・*Y*軸方向の作用力は次式によって表される。

$$\left. \begin{aligned} F_{xi} &= -N_{ij} \cos \theta_{ij} + S_{ij} \cos \left( \frac{\pi}{2} - \theta_{ij} \right) \\ &= -N_{ij} \cos \theta_{ij} + S_{ij} \sin \theta_{ij} \\ F_{yi} &= -N_{ij} \sin \theta_{ij} - S_{ij} \sin \left( \frac{\pi}{2} - \theta_{ij} \right) \\ &= -N_{ij} \sin \theta_{ij} - S_{ij} \cos \theta_{ij} \end{aligned} \right\} (4)$$

ここに、*j*：*i*要素と隣接している要素番号

$\theta_{ij}$ ：*i*、*j*要素間の軸方向に対する角度

以上の手法を各要素について、隣接する全要素との作用合力を求めたうえで、各要素の重心加速度を求め、図-4に示すフローチャートに従って次の時刻における速度・変位を計算する。

### (3) ばね定数の決定法

本研究では、ウレタンを充填した合成構造部

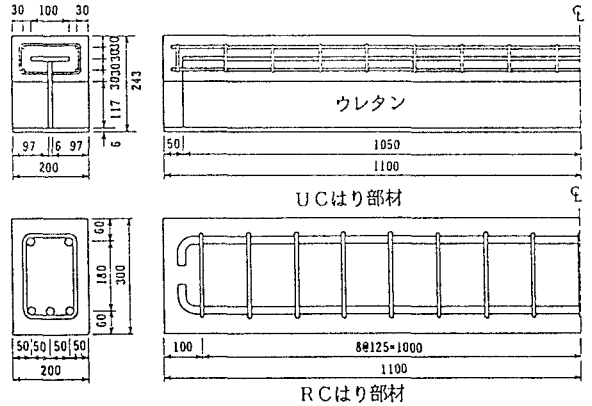
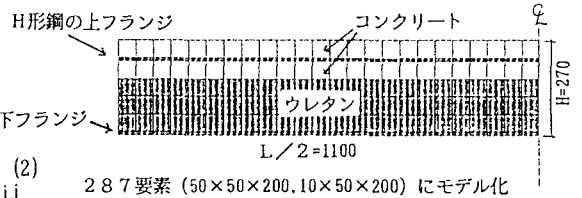


図-1 各はり部材の寸法と形状 単位：mm



287要素 (50×50×200, 10×50×200) にモデル化

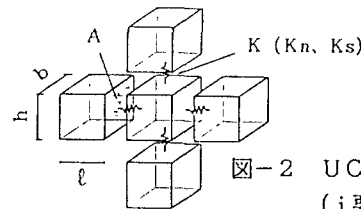


図-2 UCはり部材のモデル化 (i要素に隣接する要素)

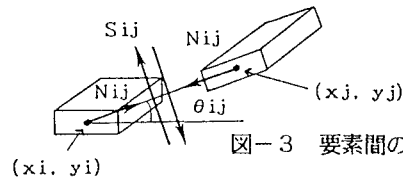


図-3 要素間の作用力

表-1 材料諸元

|      | 引張鉄筋                      | 圧縮鉄筋  | その他                                                                                    |
|------|---------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| UCはり | 硬質ウレタン充填<br>ウェーブ鋼板 (6 mm) |       | スターループ間隔 12.5 mm<br>圧縮鉄筋量は引張鉄筋量の1/2<br>コンクリート圧縮強度 30.0 kgf/cm <sup>2</sup><br>鋼材 SD400 |
| RCはり | D22×3                     | D19×2 |                                                                                        |

材を対象としているため、異なる材料間に設定するばね定数の決定法が問題となってくる。ここでは、以下のような考え方に基づくものとした。すなわち、外力Pが作用した時の異種要素間の伸びをそれぞれ $\ell_1 = \varepsilon_1 L_1$ 、 $\ell_2 = \varepsilon_2 L_2$ とおくと、全体の伸びは、

$$L = \ell_1 + \ell_2 = \frac{P}{K} \left( \frac{L_1}{E_1} + \frac{L_2}{E_2} \right) \dots\dots\dots (5)$$

したがって、異種要素間の換算ばね定数Kは、次式で決定するものとした。 $K = \frac{AE_1E_2}{E_1L_2 + E_2L_1} \dots\dots (6)$

3. 計算結果および考察 ここでは、過去に著者らが実験により検討したRCはりおよびUCはり(図-1)を対象として検討を行った。なお、計算に用いたインプットデータを表-2に示す。

(1) 変位～時間関係 図-5は重量150kgfの重錘を4.0m/sで衝突させた際のUCはりの変位～時間関係を示したもので、本法による変形の計算値は実験値よりやや小さいが、ほぼよく一致していることが認められる。

(2) 荷重～時間関係 図-6は同じ条件下における荷重～時間関係を示したもので、計算値は実験値の定性的傾向を大概把握していることが認められる。

(3) 破壊状況 図-7に(1)と同じ重錘条件で衝突させたときのUCはりおよびRCはりの破壊状況を示した。破壊の基準は、圧壊で1000 $\mu$ 、引張で100 $\mu$ として表現した。これより、UCはりはRCはりに比較して局所的な破壊が発生している結果となり、実験でもほぼ同様な状況が観察された。

#### 4. 結言

本研究の成果を要約すると以下のとおりである。①実験結果と比較することにより、多層化した剛体ばねモデルを用いた本解析手法の妥当性が確認された。②本解析において、各部材の破壊状況が定性的に評価できることが確かめられた。

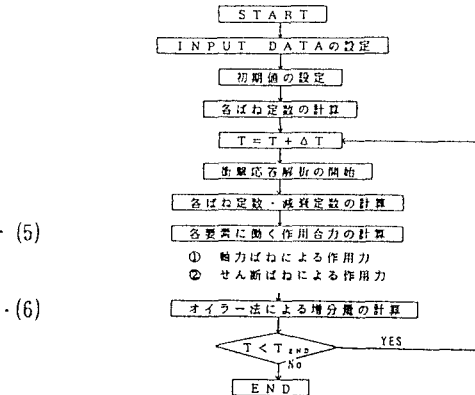


図-4 衝撃応答解析フローチャート

表-2 計算例で用いたインプットデータ

|      |        |                   |                     |
|------|--------|-------------------|---------------------|
| ヤング率 | コンクリート | $3.0 \times 10^5$ | kgf/cm <sup>2</sup> |
|      | ウレタン   | $5.0 \times 10$   | kgf/cm <sup>2</sup> |
|      | 鋼材     | $2.1 \times 10^6$ | kgf/cm <sup>2</sup> |
| 引張限界 |        | 0.0002            |                     |
| 圧縮限界 |        | 0.002             |                     |
| 減衰定数 |        | 0.01              |                     |
| 時間増分 |        | 0.5               | $\mu$ s             |

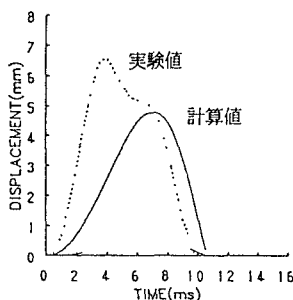


図-5 荷重～変位関係 (W=150kgf、V=4.0m/s)

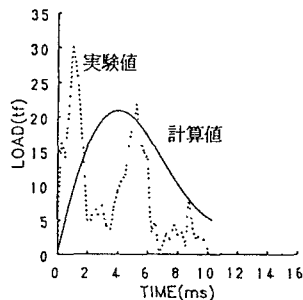


図-6 荷重～時間関係 (W=150kgf、V=4.0m/s)

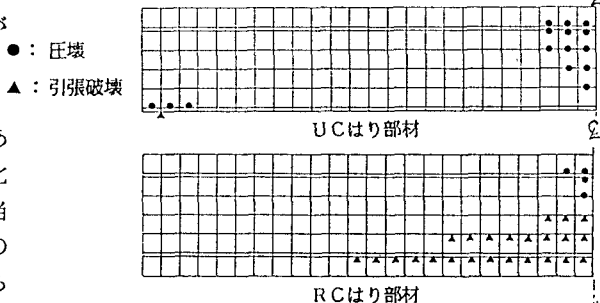


図-7 破壊状況 (W=150kgf、V=4.0m/s)

#### 参考文献

- 1) 山本恭嗣、園田佳巨、石川信隆、太田俊昭、太田貞次：硬質ウレタンを充填した鋼・コンクリート合成梁の衝撃吸収エネルギーについて、第47回年次学術講演会概要集、1992.9
- 2) T.Ohta, Y.Sonoda, K.Yamamoto, N.Ishikawa: On the Impact Behavior of Composite Beam Filled with Hard Urethane, International Symposium on Impact Engineering, 1992.11