

の解析

神戸大学工学部 正員 藤井 学
 神戸大学工学部 正員 宮本 文徳
 川崎重工業(株) 〇正員 森川 英典
 神戸大学大学院 学生員 境 晃三

1. まえがき 近年、コンクリート構造の適用範囲の拡大とともに、これらの受ける外力はより過酷になってきている。その一つに衝撃荷重を受けるケースが考えられ、コンクリート構造の衝撃下での脆性的挙動が問題となる場合があり、挙動の解明と耐衝撃性の改善が要求されている。そこで、本研究では、有限要素法を用いた衝撃解析によって、RC部材の衝撃挙動特性を明確化することを目的とした。

2. 解析の概要 解析モデルとしては、図1に示すRCはりで、断面は幅15 cm × 高さ18 cm とし、設計荷重を1.5tに設定した。(スパン=120 cm) また、コンクリートと鉄筋の付着は完全であると仮定した。本研究では、コンクリートを直交異方性体とみなした磯畑による弾塑性モデルを用いた。異方性の主軸(x, y)を要素の主応力方向にとった場合、要素の応力-ひずみ関係式は次式のようになる。

$$\{\sigma_x, \sigma_y, \tau\}^T = [Dep] \cdot \{\epsilon_x, \epsilon_y, \gamma\}^T \quad \text{--- (1)}$$

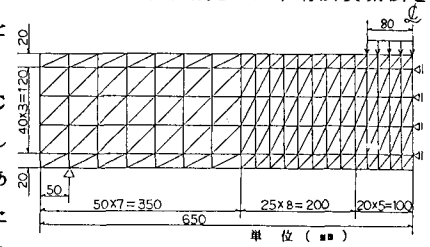
$$[Dep] = [Ap]^T \cdot \{[D] + [Hp]\} \cdot [Ap] \quad \text{--- (2)}$$

ここで、Dは弾性係数マトリクス、Apはヤング係数の変換パラメータで構成される係数マトリクス、Hpはポアソン比の変化に依存する偏差マトリクスである。実際の弾塑性処理にあたっては、要素の直交する2つの主応力方向のそれぞれに対して、材料一軸試験による応力-ひずみ特性を適用し、一軸特性を図2のように折線近似することによって変換パラメータを求め、各ひずみ状態におけるヤング係数の設定を行った。コンクリートのひびわれ発生にともなう弾性ひずみエネルギーの解放については、内部応力に等価な要素節点力に置換する方法を用い、ひびわれ面でのせん断伝達は無視した。動的平衡方程式の積分については、Newmark-β法を適用し、次式に基づいて行った。

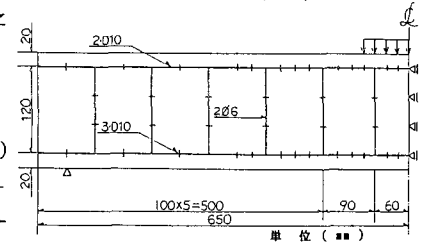
$$\left([K] + \frac{1}{\beta \Delta t^2} [M] \right) \cdot \{\Delta U\} = \{\Delta R\} + [M] \cdot \left(\frac{1}{\beta \Delta t} \{\dot{U}\} + \frac{1}{2\beta} \{\ddot{U}\} \right) \quad (3)$$

ここで、Kは剛性マトリクス、Mは質量マトリクス、ΔRは外荷重ベクトル、ΔU、ΔU̇、ΔÜは変位、速度、加速度の増分ベクトルである。安定性パラメータβについては、本解析の場合、1/4の値を採用した。荷重データについては、重錘自由落下試験による結果をもとにして作成した。

また、(3)式を解く場合、バンドマトリクス法

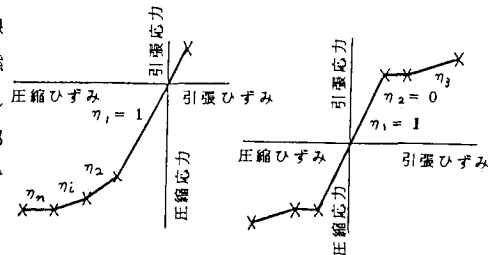


a) コンクリートモデル



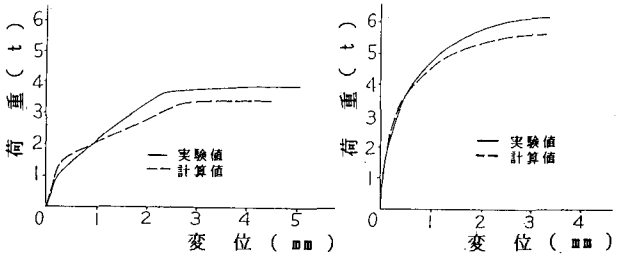
b) 鉄筋モデル

図1 RCはりの有限要素モデル



a) コンクリート b) 鉄筋

図2 材料一軸特性の折線近似



a) 静的挙動 b) 衝撃挙動

図3 荷重-変位履歴曲線の比較

を用い、反復計算によって解の収束をはかった。

3. 結果の考察

解析精度については、静的および衝撃試験による結果との比較をもとに検討を行った。図3 a), b) に示した荷重-変位曲線で検討してみると、破壊荷重は両荷重下で1割前後の誤差になっている。次に、RCはりの衝撃挙動特性を解明するために、数種類の载荷速度での衝撃（解析結果）を静的解析結果と対比させて検討してみる。図4に示した荷重-変位履歴曲線からわかるように、载荷速度が増加するにしたがって、剛性および破壊荷重が増大するが、破壊時変位は逆に減少する傾向にある。また、図5 a) ~ c) に示した変位分布によると、衝撃荷重下では、破壊時において、支間中央部での局部変形が発生しやすく、その傾向は、载荷速度が大きいほど、顕著になっている。次に、図6は、破壊時におけるひびわれ状況解析結果を示したものである。これによると、衝撃荷重下でのひびわれ発生範囲は、静的よりも小さくなっており、その傾向は、载荷速度の増大にしたがって、顕著になっていることがわかる。このことは、衝撃荷重下における支間中央部でのせん断変形が大きいために生じるものと考えられるが、破壊に至るまでの内部エネルギーの解放が小さな範囲で行われていることを現わしている。また、支間中央部でのひびわれ幅はかなり大きくなるものと推察される。

4. まとめ

(1) 本解析による結果は、確認実験との比較検討によって、比較的高い精度で得られていることが明らかになった。(2) RCはりの衝撃挙動特性は、耐荷力増大、変形能低下、局部変形性の増大および破壊範囲の減少として現われ、この傾向は、载荷速度の増加に伴って、増大する。

参考文献

1) 磯畑修：有限要素法によるコンクリート構造物の2次元弾塑性解析，日本建築学会論文報告集 第189号，pp 43-50，昭和46年11月

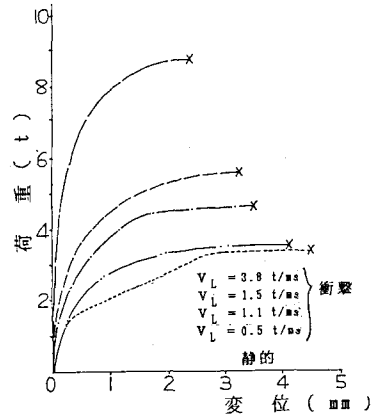


図4 荷重-変位履歴曲線（解析結果）

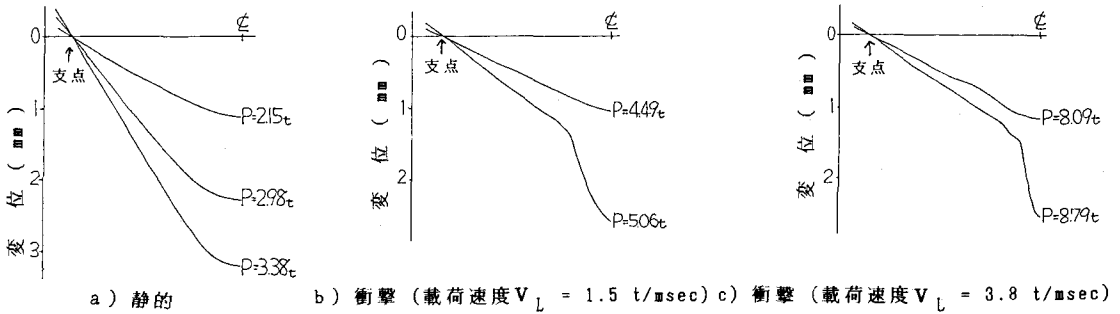


図5 変位分布曲線（解析結果）

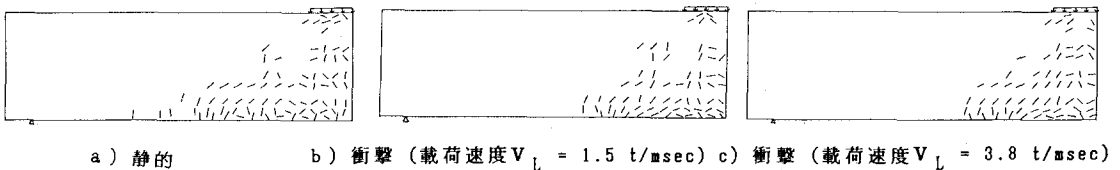


図6 破壊時におけるひびわれ状況図