

I-37

RC部材の衝撃応答性状に及ぼす荷重時間の影響

室蘭工業大学	正員	岸 徳光
室蘭工業大学	正員	松岡 健一
専修道短大	正員	三上 敬司
日本大学	正員	能町 純雄
室蘭工業大学	学生員	泉 智夫

1. はじめに

近年、構造物の静的問題や地震挙動のような比較的荷重時間の遅い場合の挙動解析は、数値解析法の進歩や電子計算機の高速度化、大容量化によって、特殊な場合を除いてかなり詳細な検討が可能になった。一方、構造材料の縦波やせん断波の伝播速度を無視することができないような衝撃荷重載荷の場合には、有限差分あるいは有限要素法に基づいた汎用の解析コードが開発されているもののパーフォレーションやペネトレーション、スキッピングの発生など破壊に至る過渡的現象についての解明はいまだ十分に行われていないようである。

本論文では単純支持RC梁に部分分布の衝撃荷重が載荷する場合の弾性衝撃応答問題を取り上げ、力積を一定としたときの部材の応答性状に及ぼす荷重継続時間の影響等について検討を行ったので報告する。

解析手法は弾性問題であるので種々考えられるが、ここでは複鉄筋RC梁モデルを用いているため、断面方向に離散化し、軸方向に連続関数を用いる有限ブリズム要素法¹⁾を用いることにした。

2. 数値解析

解析モデルは種々考えられるが、ここではロックシェッドの屋根部を対象として検討を行うこととした。すなわち、床板厚 1m、複鉄筋（鉄筋比 1%）のRCスラブが幅員方向に 10m かつ路肩部に沿って壁（あるいは柱）に単純に支持されているロックシェッドを想定して、その一部を取り出し梁状にモデル化して解析を行った。従ってこのモデルは図-1 に示すような単位幅を有し、スパン 10m、桁高 1m、鉄筋比 1%の複鉄筋単純支持RC梁である。種々の検討の結果、鉄筋部を板状にモデル化できることが明らかになっているので、ここでは桁高方向にのみ要素分割することとした。またスラブをモデル化しているので各節点の x 方向変位を拘束している。また、上下縁のかぶりを 5cm とし深さ方向に 60 分割している。

荷重はスパン中央に部分分布荷重として 50cm の幅で載荷するものと仮定し時間方向分布は吉田等²⁾がロックシェッドの応答解析に採用している波形（図-2）を用いている。

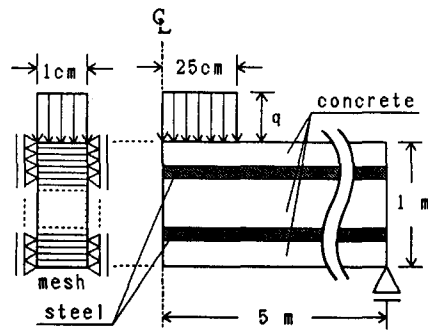


図-1. 解析モデル

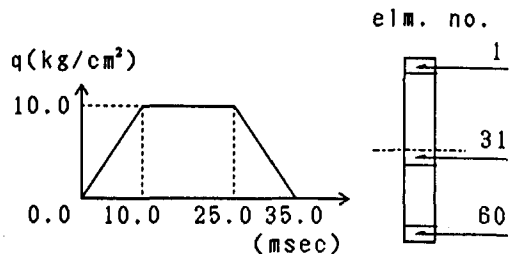


図-2. 荷重波形及び主要要素位置

On Duration-Time Effect for the Dynamic Response of RC Member under the Impact Load by Norimitsu KISHI, Ken-ichi MATSUOKA, Takashi MIKAMI, Sumio NOMACHI, and Tomoo IZUMI

2. 1 精度の検討

本解析における精度的な検討としてFourier変換の項数と、解析に用いられる固有値の数に関するものがある。Fourier級数の項数に関しては文献³⁾の結果を適用して61項に固定するものとして、主に固有値の数による応答値の精度について検討を行った。ここではスパン中央部における載荷点直下のコンクリート要素1, 31, 60の σ_z 、および要素1の σ_y に注目して検討した。載荷時間が短いほど高次の影響が大きいと考えられるので入力波形は図-2の波形と力積を等しくし、全載荷時間を1/10の3.5msec、荷重強度を100 kg/cm²とした場合について検討を行った。

要素1,60における σ_z は図-3(a),(b)に示すように固有値数が20以上でよく収斂しているようである。要素31の σ_z については図-3(c)に示すように、全体的に振動状態のような分布になっているが、この場合も固有値数が20個以上になると収斂しているようである。要素1の σ_y (図-3(d))については固有値数が50個の状態でも応答値の絶対値が増加傾向の状態にある。

以上より、衝撃初期の載荷点直下における σ_y の応答値以外はここで考慮している固有値の範囲内ではほぼ収斂しているものと考えられ、時間が経過するとその傾向もより改善されるものと考えられる。以下の解析では固有値の数を34個まで考慮している。

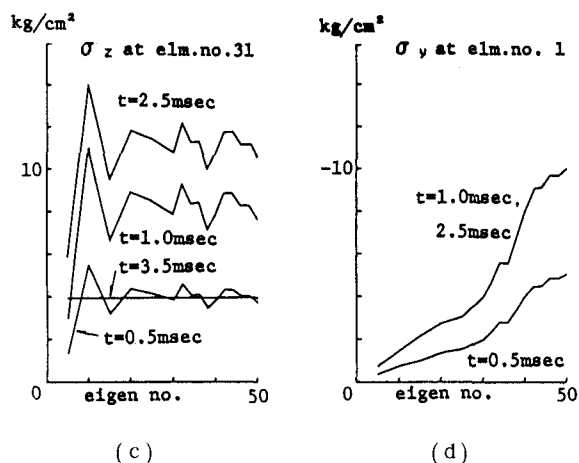
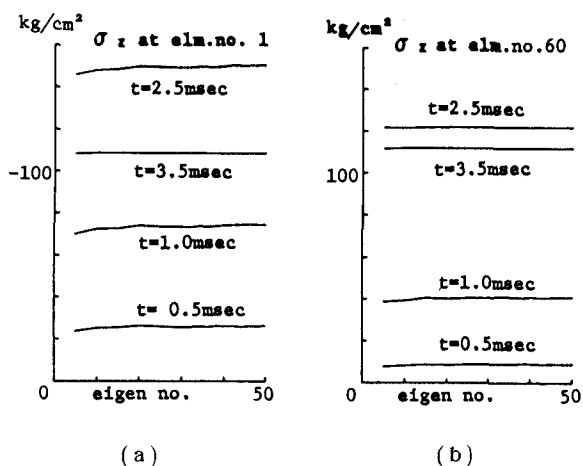


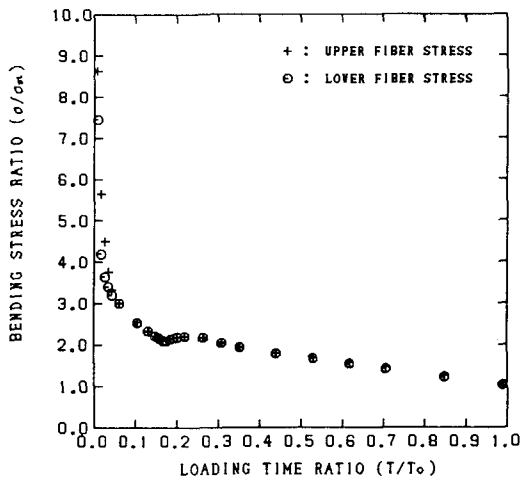
図-3. 固有値による応力値の収斂状況

2. 2 荷重載荷時間が曲げ応力に及ぼす影響

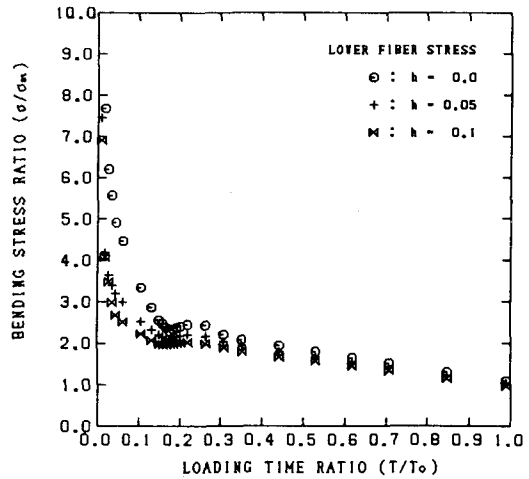
荷重載荷時間と梁の曲げ応力との関係を調べるために、図-2に示された波形を基準として力積一定、波形分布の時間比を一定とした衝撃力(全25ケース)を入力した場合の応答解析を試みた。解析は荷重載荷時間を梁の最低次固有周期までを想定し最大縁応力に注目し、減衰定数0%, 5%, 10%の3ケースについて行っている。

図-4(a)には減衰定数5%の場合における最大上下縁応力と荷重継続時間との関係を示している。図中、横軸は荷重継続時間と最低次固有周期($T_0 = 56.6\text{msec}$)との比で示し、また縦軸は基準波形の荷重強度($q = 10\text{kg/cm}^2$)を静的に載荷させた場合の縁応力度($\sigma_{st} = 54.61\text{kg/cm}^2$)との比で示している。図より荷重継続時間が長い場合には上下縁ともほぼ同様の分布を示しているが、継続時間が短くなるに従い載荷部となっている上縁応力が下縁応力より大きくなっていることがわかる。その値は $T/T_0 = 0.0177$ の場合には上縁応力は下縁応力の1.35倍となっている。この現象は荷重継続時間が短いため1次あるいは3次の振動状態が励起される前に除荷され、主波動が梁の深さ方向及び軸方向に減衰しながら伝播するためであるものと考えられる。

図-4(b)には最大下縁応力と荷重継続時間との関係を減衰定数を変化させて示している。図より継続時間が短い場合の方が長い場合に比べ、より減衰項の影響を大きく受けていることがわかる。



(a)



(b)

図-4. 荷重継続時間と応答最大値の関係

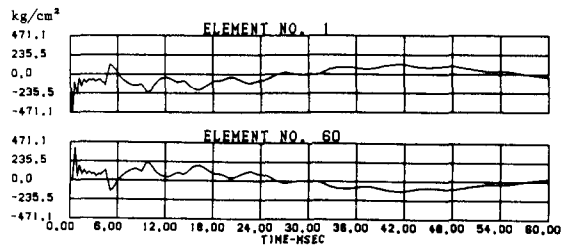
次に荷重載荷時間の上下縁曲げ応力波形への影響について検討を行った。図-5に荷重継続時間が $T/T_0 = 0.0088, 0.0265, 0.1767$ の3ケースについての軸方向応力波形分布を示した。図より $T/T_0 = 0.0088$ の場合は荷重継続時間が非常に短いために最低次固有振動が十分に励起される前に最大応答値が発生する。また、 $T/T_0 = 0.0265$ の場合は荷重載荷時の応答と最低次固有振動による応答とが同程度の大きさになっている状態がわかる。 $T/T_0 = 0.1767$ の場合には低次の固有振動状態が十分に励起される状態になるため最大応答値もほぼ $T_0/4$ 近傍で発生してくるようである。

2. 3 応力波の伝播性状

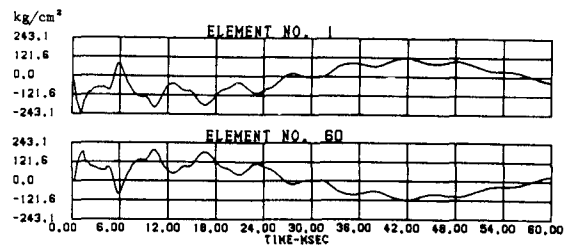
ここでは応力波の深さ方向、および軸方向への伝播性状の検討を行うために構造全体の変形挙動と主応力分布に関する解析を行った。

紙面の都合より、ここでは荷重継続時間の短い場合についてのみ示す。すなわち $T/T_0 = 0.0177$ の場合である。図-6,7に各時間経過後における梁全体の主応力分布および変形状態を示す。荷重載荷初期には載荷点近傍で局所的な曲げの状態になっているが、全体的には放射状に応力波が伝播している状態が示されているのが

σ_z at span center
 $T/T_0=0.0088$



$T/T_0=0.0265$



$T/T_0=0.1767$

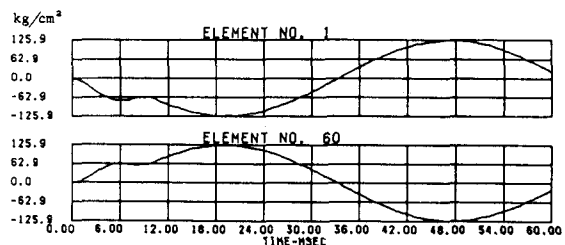


図-5. 軸方向応力波形図 ($h = 5\%$)

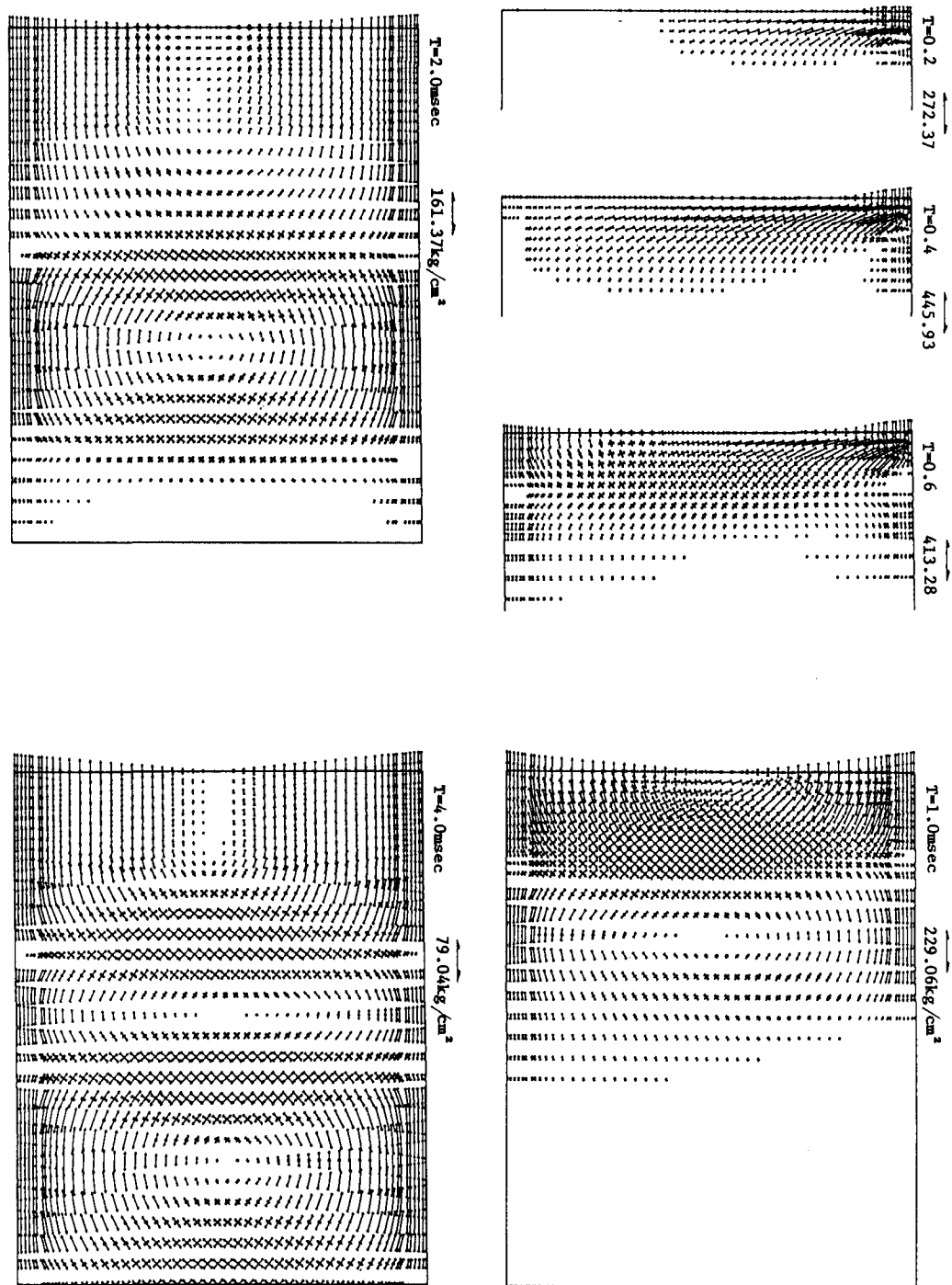


图-6. 主应力图 ($T/T_0 = 0.0177$, $h = 5\%$)

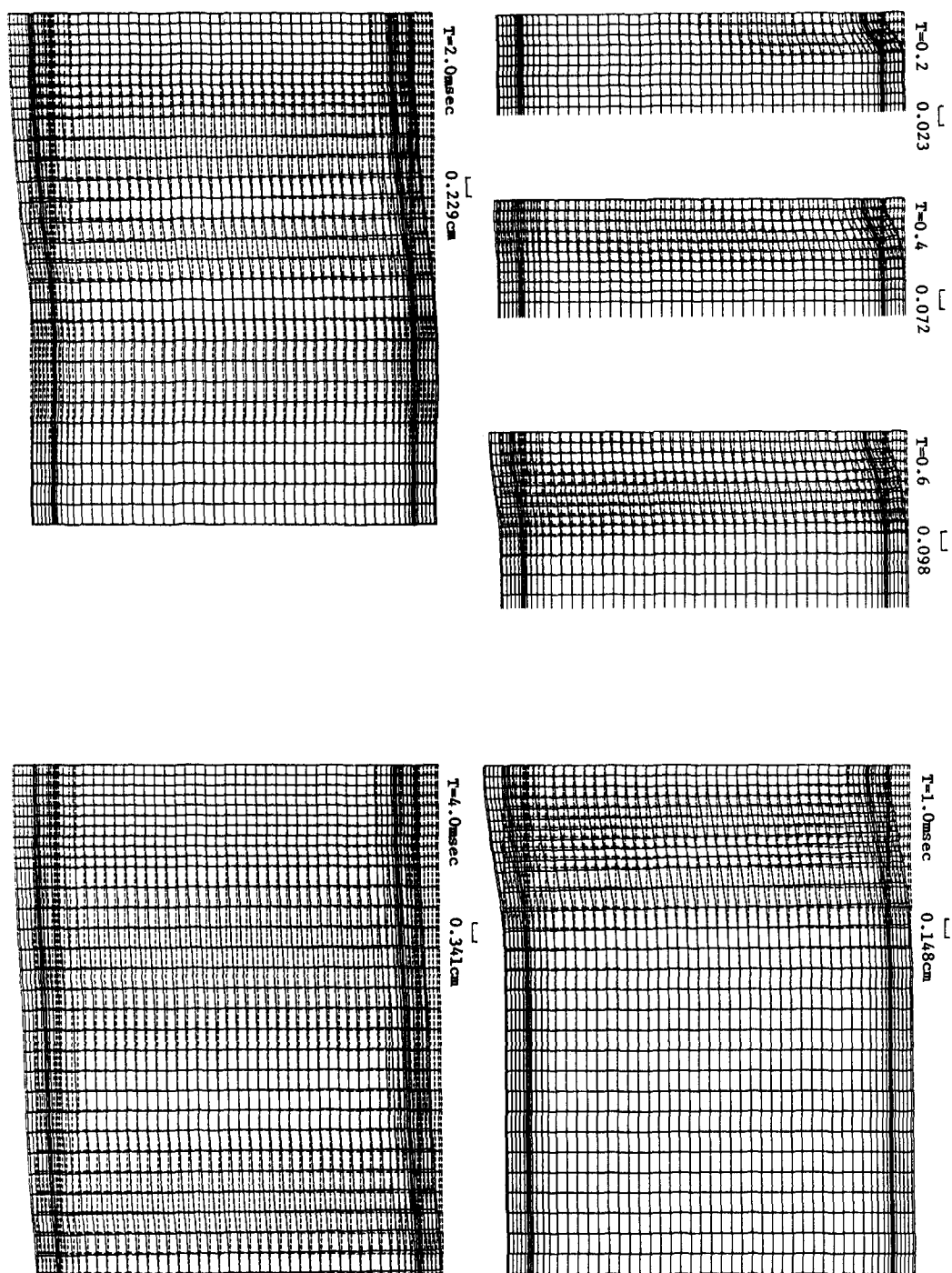


图-7. 变形图 ($T/T_0 = 0.0177$, $h = 5\%$)

わかる。 $t = 0.4\text{msec}$ ではその状態が顕著に示されている。この時点ではまだ梁として挙動していないようである。その後 $t = 0.6\text{msec}$ では梁の中央部深さ方向に波動情報が伝播されるために下縁の境界条件によってスパン中央部近傍に曲げの状態が発生している。しかしながら、軸方向への波動伝播が十分でないため、この時点ではスパン中央部から 1m程度離れた部分で固定支持を示すような挙動となっている。すなわち一時的にスパン中央部がスパン 2m前後の両端固定梁的な挙動を示しているものと考えられる。 $t = 1.0\text{msec}$ では $t = 0.6\text{msec}$ の状態が軸方向に拡大されているような挙動を示しており、やがて $t = 2.0\text{msec}$ では主波動も支持点近傍まで伝わっているため、全体として 3次の振動状態に進展しているようである。また $t = 4.0\text{msec}$ では十分に梁全体に波動が伝播し、低次固有振動モードが 3個すなわち 5次の振動モードまで励起されている状態を確認できる。節部のせん断応力は支点部のそれを含めほぼ同様な大きさになっていることがわかる。

一方変形挙動を見ると、 $t = 0.2\text{msec}$ では変形が載荷点近傍に集中し、いまだ下縁まで波動が伝播していない状態を確認できる。また、 $t = 0.4 \sim 1.0\text{msec}$ においては載荷点近傍部が両端固定梁の挙動を示すことが明確に示されている。 $t = 2.0\text{msec}$ では、最低次の振動モードを主波動とし 3次のモードも励起されているのがわかる。 $t = 4.0\text{msec}$ では、最低次振動モードが卓越しているために主応力分布図で示されている第3,5次モードは顕著には現れていないようである。

3. おわりに

単純支持RC梁に部分分布の衝撃荷重が載荷する場合の弾性衝撃応答問題を取り上げ、力積を一定としたときの部材の応答性状に及ぼす荷重継続時間の影響などについて検討を行った。その結果、載荷時間が短いほど応答値が大きくなり、その最大値も載荷初期に発生し載荷時間が長い場合では低次の振動状態が励起されやすく、減衰項の影響も小さくなることが明らかになった。更に載荷時間の短い場合について、各時間における構造全体の主応力状態、変形状態を図化処理し、載荷点から構造全体への波動の伝播状況及び低次振動状態への移行の様子を確認できた。

4. 参考文献

- 1). 岸徳光, 松岡健一, 能町純雄, 本名一夫: 衝突衝撃荷重に対するRC矩形板の衝撃応答解析, 土木学会北海道支部論文報告集, 第45号, PP.199-202, 1989.1.
- 2). 吉田博, 榊谷浩, 岡衛: 落石覆工屋根上への落石による衝撃荷重特性について, 土木学会論文集, 第362号, PP.461-470, 1985.10.
- 3). 岸徳光, 吉田紘一, 松岡健一, 能町純雄: 層状弾性体にモデル化した覆工敷砂部の衝撃応答解析, 構造工学論文集, vol34A, PP.817-826, 1988.3.