

神戸大学大学院 学生員 ○榎井 弘樹
 神戸大学工学部 正会員 宮本 文穂
 神戸大学大学院 学生員 M. W. KING

1. まえがき 土木構造物の耐衝撃設計法確立において、衝撃破壊挙動の解明や衝撃作用の特性・頻度等を明らかにすることが必要不可欠となるが、特に後者においては未だ十分な検討が行われていない現状にある。そこで本研究では、構造物に作用する衝撃力特性をシミュレートするため、衝撃体を多質点系モデルにモデル化することによって衝撃体が被衝撃体に及ぼす衝撃力特性、衝撃体の各質点の加速度応答特性等の算定・把握を試み、衝撃模型実験結果に基づいて解析結果を検証することによりその精度及び特性を明らかにし、衝撃力シミュレーションの可能性、有効性を検討するものである。

2. 解析法の概略 衝撃力特性のモデル化手法としてはMulti-Mass Model¹⁾を用いた。使用したモデルをFig.1に示す。ここで被衝撃体はコンクリート構造物を想定し完全剛体とはせず、ある大きさを持った質点とし、ばねによって完全剛体に取付けられているものと考えた。この場合、ばねは実験との対応を考え、ばね定数が極端に小さいが被衝撃体質点と完全剛体との衝突はないものとした。

Fig.1中で $m_1 \sim m_3$ は質点の質量、 $k_1 \sim k_3$ は軸方向のばね定数を、 $g_1 \sim g_3$ は回転方向のばね定数を示す。解析方法としては、各質点における並進運動及び回転運動の運動方程式(式(1),(2))を逐次積分法(Newmark- β 法($\beta=1/6$))を用いて解いた。時間 t における衝撃力 F_t は一般にばねによる力の伝達(式(3)第1項)と力積伝播の影響(式(3)第2項)より式(3)で与えられるが、本研究ではモデルの各ばねを完全弾性体として考え、前者(式(3)第1項)のみにより算定することにした。

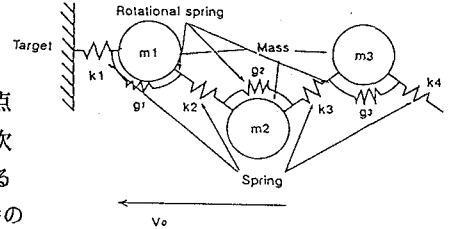


Fig.1 Multi-mass model of impact body

$$[M] \cdot \{\ddot{U}\}_t + [C] \cdot \{\dot{U}\}_t + [K] \cdot \{U\}_t = \{R\}_t \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$[I] \cdot \{\ddot{\theta}\}_t + [K] \cdot \{\theta\}_t = \{R\}_t \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$F_t = K_t \cdot U_t + I_t / \Delta t \quad \dots\dots\dots (3)$$

3. 実験の概要 以上の解析結果の精度及び有効性を検証するため検証実験を行った。その実験装置をFig.2に示す。ここでは、ゴム板で金属製の質点を連結したものを衝撃体とし、質量200kgの金属塊を被衝撃体とした。そして、それぞれをワイヤで吊下げて振子状にし、反対方向に引上げて、同時に解放することによって元の位置(Fig.2中Collision point)で衝突するようにした。本研究では、被衝撃体を可動にする事によって被衝撃体にも速度を与え、より大きな相対速度を得る事ができるようにした。そして

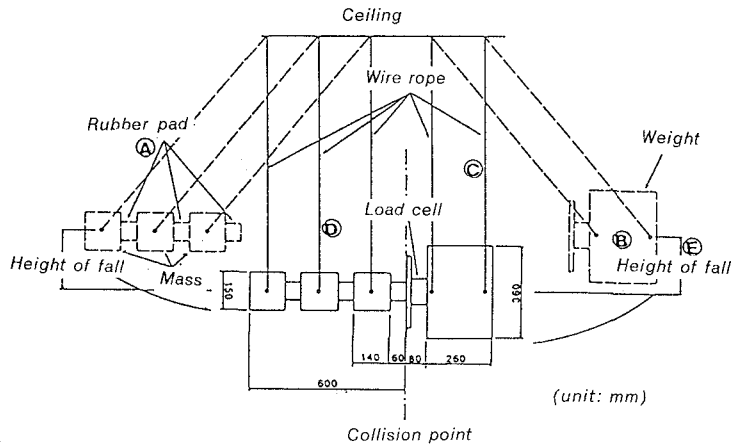


Fig.2 Test apparatus for impact force simulation

衝撃体の質点数、1質点あたりの質量、衝突速度等を変化させて数種類の実験を行い、各質点重心において加速度応答を、またロードセルを金属塊に取付けることにより衝撃力の時間的変化を測定した。実施した実験の種類

をTable 1に示す(Kは偏心を与えたモデルを示す)。

Table 1 Test variables

Test code	Number of mass	Weight of each mass (kgf)	Amount of eccentricity (mm)	Spring modulus (kgf/cm)
D3M1	1	15.90	0	1150
D3M2	2	15.08	0	1150
D3M3	3	15.01	0	1150
D5M1	1	25.20	0	1150
D5M2	2	24.60	0	1150
D5M3	3	24.57	0	1150
D5M3K	3	24.57	12.5	1150

最大衝撃力を小さく算定する傾向がある事がわかる。前者はJ_mの弾性、粘性定数を一定と仮定して解析を行ったため、後者は衝撃力の算定においては力積伝播の影響を考慮に入れていないためと考える。しかし、衝撃力波形や、各質点の応答加速度（Fig.4）を比較してみても先頭の質点の加速度が0、つまり衝撃体が被衝撃体から離れてしまうまでの波形はほぼ一致している。これらの結果より、粘性や力積伝播の影響の考慮等の問題点があるが本解析法が任意の衝撃体モデルの衝突時に現れる衝撃力波形及び加速度波形の特徴をシミュレートできると思われる。

そこで、衝撃力特性を支配すると思われる衝突速度、1質点当たりの質量、質点数を変化させ、これらが衝撃力特性にどのような影響を与えるかを解析的に明らかにしたものをFig.5に示す。これより衝撃体の衝突速度が大きいと最大衝撃力も大きく、質点数が多いと作用時間が長く、1質点あたりの質量が大きいと立ち上がり時間や作用時間が長くなるという傾向があることがわかる。最後に各質点間の偏心の影響は、解析結果によると作用時間は変わらないが、立ち上がり時間、最大衝撃力が増加した。また、3質点の場合、衝撃力は2つのピークをもち2度目のピーク時に最大衝撃力に達する傾向がみられた。

5. 結論 ①Multi-Mass Modelを使った本解析法は、衝撃力波形の特徴をほぼシミュレートすることができる。②衝撃体の衝突速度は最大衝撃力に、質点数は作用時間に、1質点あたりの質量は立ち上がり時間や作用時間に影響を及ぼす。

参考文献：1) J.P.Wolf, K.M.Bucher and P.E.Skrikerud: Response of Equipment to Aircraft Impact, Nuclear Engineering and Design, Vol.47, pp.169-193, 1978

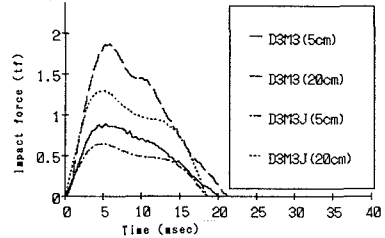


Fig.3 Impact force for D3M3 model

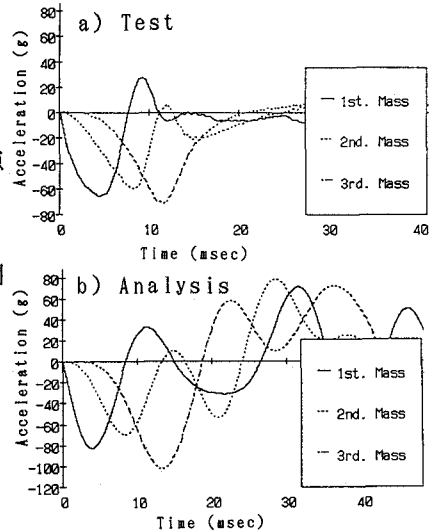


Fig.4 Acceleration for D5M3 model

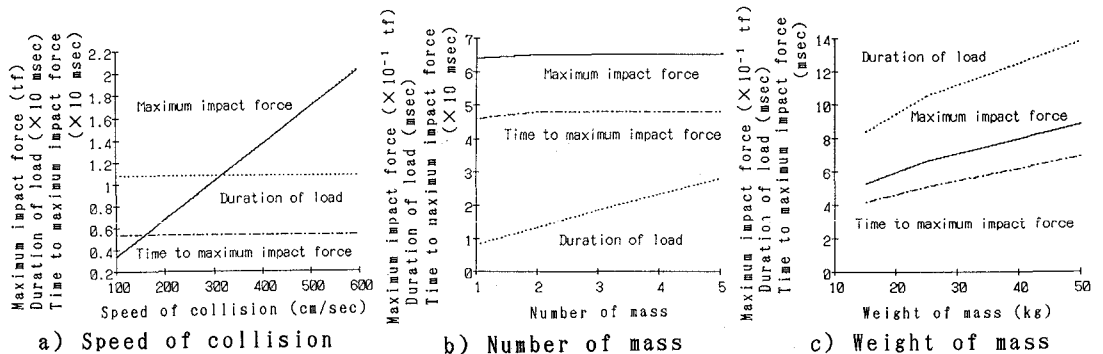


Fig.5 Influence for each element of model (Analytical results)