

構造物に作用する衝撃力特性のシミュレーションと設計衝撃力の検討

神戸大学工学部 正員 宮本文穂 神戸大学大学院 学生員 M.W.KING
三菱重工業(株) 正員 榊井弘樹 神戸大学大学院 学生員 〇石橋照久

1. まえがき コンクリート構造物の耐衝撃設計法確立には、被衝撃体の衝撃破壊挙動の解明とともに、構造物に衝撃作用を及ぼす恐れのある衝撃体の衝撃力特性、頻度等の解明が必要となる。そこで本研究では、衝撃体を多質点ばねモデルに置換することにより、衝撃体が被衝撃体に及ぼす衝撃力特性並びにモデルの各質点における応答加速度の算定、把握を試みる。そして、確認実験による結果との比較検証により、精度及び特性を明らかにし、衝撃力特性シミュレーションの可能性、有効性を検討する。さらに、衝撃体として自動車、被衝撃体として高欄や中央分離帯を取り上げ、車種、衝突速度を変化させて設計衝撃力の検討を行った。

2. 解析法の概略 衝撃力特性の解析のモデル化手法としては、Lumped-mass model¹⁾を基本として各質点の回転ばね及びダッシュポット(図中には示していないが、各質点間軸方向の粘性減衰係数を $c_1 \sim c_n$ とする)の付与により改良を加えたFig.1に示す多質点ばねモデルにより行った。そして、各質点重心の並進方向及び重心回りの回転方向の運動方程式を逐次積分法の一つであるNewmark- β 法を適用して解いた。時間 t における衝撃力 F_t は、ばねにより伝達される力($K_i \cdot U_i$)と力積伝播による力($I_i/\Delta t$)の和によって、式(1)のように表されるが、本研究では70tの衝撃を対象とするため力積伝播の影響は小さいものと考え、式(1)第1項のみにより算定するものとした²⁾。

$$F_t = K_i \cdot U_i + I_i/\Delta t \quad \dots\dots(1)$$

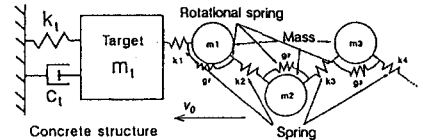


Fig.1 Multi-mass model of impacting body

3. 実験の概要 以上の解析による結果の有効性を検証するために、Fig.2に示すような実験装置を用いて検証実験を行った。すなわち、ワイヤロープで振り子状に吊り下げた衝撃体と被衝撃体を、それぞれ反対方向に所要の衝突速度が得られる高さまで引き上げ、同時解放することによって元の位置(図中のCollision point)で衝突させた。衝撃体は、金属板を重ね合わせて質点として鋼柱で連結し、被衝撃体は200kgfの金属塊を用いた。そして、各質点に配した加速度計によって応答加速度を、また、金属塊の衝突面に取り付けたロードセルで衝撃力を測定した。

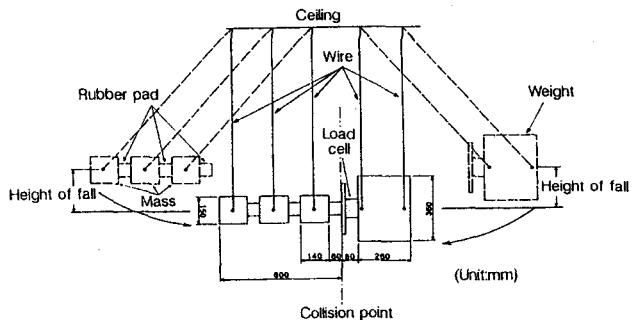


Fig.2 Test apparatus for impact force simulation

4. 結果及び考察 本実験及び解析の結果の例をFig.3とTable 1に示す。ここで、本実験での衝撃体質点数は3質点であり、Table 1に示す試験コードの各アルファベットは、衝撃体の質点間での相対的な重量比を表し、「H」は「Heavy」の略で質点重量が25kgf、「L」は「Light」の略で質点重量が15kgfであることを表している。Fig.3は試験コード「HLH」の実験結果と解析結果を比較したものであるが、落下高さ20cm、5cmともに実験結果と解析結果は最大衝撃力に達する辺りまではほぼ一致しているが、それ以降については解析結果の方が作用時間が長くなるという傾向がみられる。これは、実験に用いた

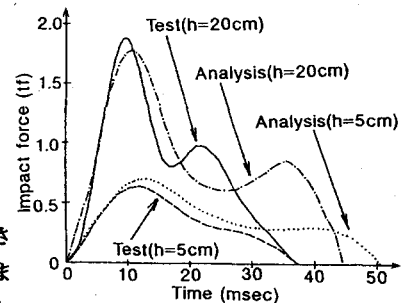


Fig.3 Comparison between impact force for test and analysis

Ayaho MIYAMOTO, Michael William KING, Hiroki MASUI, Teruhisa ISHIBASHI

Δの静的載荷試験で得られる材料一軸特性を折線近似して解析に適用する際に、除荷過程についての近似を直接考慮せず、載荷過程のものを使用したためと思われる。しかし、最大衝撃力の誤差は落下高さ5cmで8.37%、落下高さ20cmで2.97%であり、衝撃力波形全体の傾向が良く再現できていることから、Δの除荷過程の折線近似を正確に行うことができれば、さらに高精度の衝撃力シミュレーションが可能であると思われる。

5. 設計衝撃力の検討 種々の衝撃作用を受けるコンクリート構造物の設計上必要不可欠なものとして、各種限界状態の設定、設計概念の確立及び耐荷力算定法の開発の他に、対象とすべき衝撃力特性（最大衝撃力、作用時間、載荷速度、衝撃力波形）を明らかにし、これに対する構造物の動的挙動を考慮して設計を行う必要があると思われる。そこで本研究では、高欄等の設計示方書、過去の実験及び各種調査結果の報告書³⁾を参考にし、中型乗用車、小型貨物車、大型貨物車を3質点の衝撃体にモデル化して衝撃力特性の検討を行った。解析上の衝突条件はTable 2に示すとおりであり、中型乗用車についてはさらにエンジン配置位置の違いにより3タイプに分け、大型貨物車については貨物を満載した場合についても検討した。ここで、表中のばね定数は乗用車の車体の平均剛性を参考にして決定したものであり、衝突角度はできるだけ単純な条件とし、車両の影響のみを考慮し易いように90度（構造物に対して正面衝突）と仮定した。衝撃力特性の算定結果をFig. 4に示す。これより、例えば正面衝突を仮定して高欄の設計を行う場合、衝突車両の逸脱の防止、高欄の破壊形式の制御等を考えると、運動エネルギーや衝撃力特性の初期の立ち上がり、衝撃力波形の形状などが重要となるため、最大衝撃力と力積の最も大きい貨物満載の大型

貨物車と、それに次いで最大衝撃力と力積が大きく、さらに載荷速度も大きくなる貨物無し的大型貨物車両者に対して設計を行う必要があることが分かる。ただし、道路の設計条件により交通車両に制限があり、大型貨物車の通行がない場合、小型貨物車や、エンジンの配置が車体中央部または後部の中型乗用車について設計する必要がある。

6. まとめ ①多質点ばねを用いた衝撃力算定法は任意の衝撃体の衝撃力特性の再現が可能であり、衝撃体モデルの正確な材料定数を入力することによりさらに精度良く算定できる。②自動車衝突を例に設計衝撃力を検討した結果、設計対象とする車両としては、最も大きなエネルギーを有し、最大衝撃力も大きく、衝撃力波形の最大衝撃力が後方にくる特徴のある形状を示す大型貨物車を対象とするのが妥当である。

参考文献:1) J. Wolf, et al.: Response of Equipment to Aircraft Impact, Nuclear Eng. & Design, Vol. 47, pp. 169-193, 1978. 2) 宮本文穂, 他: 構造物に作用する衝撃力特性のモデル化に関する基礎的研究, 構造工学論文集, Vol. 37A, 1991年3月. 3) 例えば、阪神道路公団: 構造物設計基準, 設計基準 第2部, 昭和55年4月。

参考文献:1) J. Wolf, et al.: Response of Equipment to Aircraft Impact, Nuclear Eng. & Design, Vol. 47, pp. 169-193, 1978. 2) 宮本文穂, 他: 構造物に作用する衝撃力特性のモデル化に関する基礎的研究, 構造工学論文集, Vol. 37A, 1991年3月. 3) 例えば、阪神道路公団: 構造物設計基準, 設計基準 第2部, 昭和55年4月。

参考文献:1) J. Wolf, et al.: Response of Equipment to Aircraft Impact, Nuclear Eng. & Design, Vol. 47, pp. 169-193, 1978. 2) 宮本文穂, 他: 構造物に作用する衝撃力特性のモデル化に関する基礎的研究, 構造工学論文集, Vol. 37A, 1991年3月. 3) 例えば、阪神道路公団: 構造物設計基準, 設計基準 第2部, 昭和55年4月。

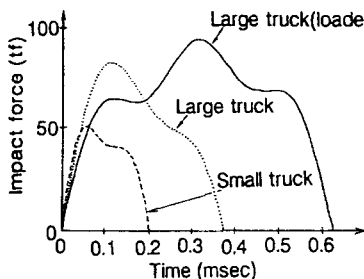
Table 1 Comparison between impact force characteristics for test and analysis

Test and analysis code	Speed of collision (m/sec)	Maximum load (tf)	Time to maximum load (msec)	Duration of load (msec)
Test	LHH	1.98 3.98	0.681 1.271	9.6 8.0
	HLH	1.98 3.98	0.645 1.820	11.6 8.8
	HHL	1.98 3.98	0.889 1.815	9.6 9.8
	HHH	1.98 3.98	0.607 1.879	10.4 8.4
Analysis	LHH-A	1.98 3.98	0.580 1.348	27.5 9.0
	HLH-A	1.98 3.98	0.699 1.766	12.5 10.5
	HHL-A	1.98 3.98	0.701 1.768	13.0 10.5
	HHH-A	1.98 3.98	0.701 1.788	13.5 10.5
				61.5 45.5
				51.5 45.0

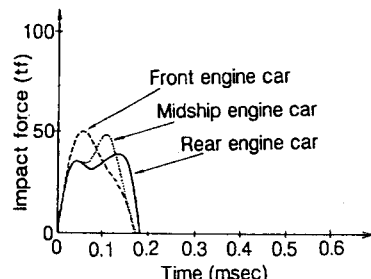
Table 2 Vehicle types and conditions employed in analysis

Vehicle type	Total weight (tf)	Distribution of weight (tf)	Speed of collision (km/h)
Automobile	1.2	0.8-0.3-0.3 0.3-0.6-0.3 0.3-0.3-0.8	80
Small truck	1.8	0.8-0.5-0.5	
Large truck	5.5	2.5-1.3-1.7	65
Large truck (loaded)	14.0	2.5-5.5-6.0	50

※Spring modulus: 0.7(tf/cm), Collision angle: 90°



(a) Large and small truck



(b) Automobile

Fig. 4 Analytical results of impact force function for various vehicles