

V-134 コンクリートまたは鉄筋コンクリート構造物の衝撃による変形と破壊

岡山大学校 (正) 竹田 仁一

岡電方第 四
技研研究所 (正) 藤本 一男

○ 岡山大学校 (学) 河村 隆

ハヤ代エンジ
ニヤリング (正) 下田 義文

1. まえがき

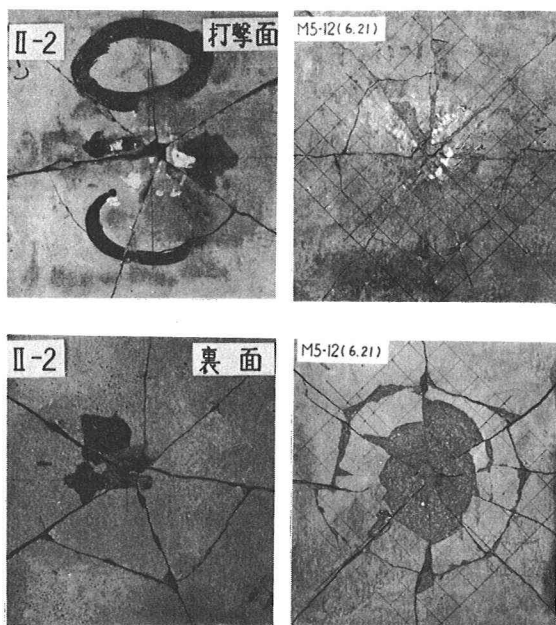
最近、コンクリートまたは鉄筋コンクリート構造物の耐爆・耐衝撃設計方法の開発が強く望まれている。この分野の研究は他に比べ、我が国では比較的少ないが、関連学問分野および実験技術の最近のめざましい進歩によって、その開発の見通しかなり明るくなってきた。この設計方法は、構造物の実際の応答にもとづかなければならぬので、いわゆる単なる動的応答解析法とは異なっており、もちろん以前の経験的手法とも別のものである。ただ、構造物の爆発、衝撃応答の一部には、そのバネ的性質にもとづく動的応答（筆者等は、これを準静的応答と呼んでいる）が含まれており、その計算には従来の解析方法が準用される。筆者等の研究室では、この分野の研究を長く継続し、種々の実験を行なってきた^{1,2)}。ここでは、従来の研究から明らかになった衝撃変形、破壊等の特徴的な性質と、それに関連する最近の研究について報告する。

2. 衝撃による構造物の応答

衝撃によって構造物中に発生する応力、歪または破壊等の応答は応力波によるもの（衝撃的応答と呼ぶ）と、前述の準静的応答の二つからなっており、これらの大きさは衝撃体と被衝撃体間の相対速度（衝撃速度）、質量比、剛性比、形状関係等によって定まる³⁾。これは静荷重の場合、被載荷体の応答が単に載荷体の及ぼす荷重によって決定されるのと、はなはだしく異なっている。従って衝撃の場合、衝撃体と被衝撃体間の作用力を衝撃力と名付けても、それは静荷重の場合のように確定した値になるのはかりでなく、時間的にも変化する値である。このような静荷重との相違は応答の様相にも現われる。例えば、金属等の堅硬物が高速でコンクリートまたは鉄筋コンクリート壁体に衝突すれば衝撃物は壁中に侵入し、あるいは貫徹する。

衝撃速度がやや遅くなると、衝突部及び裏面に破壊（衝突部表面の破壊をクレーター、裏面の破壊を裏面剝離、スキヤッピレグと言っている）が生ずるが、一般には裏面剝離の方が先に発生する（図-1）。衝撃速度が極めて遅くなると、比較的長い数本のクラックが発生し、静的な場合の破壊が生ずる（写真 1-(a)）。中間の速度では、これらが混じり合った複雑な破壊になる（写真 1-(b)）。このような応答の複雑さは、次の二つの原因によって発生すると考えられている⁴⁾。

(1) 変形の速さによって応答を支配する関係式（構成方程式）が変化する。つまり、応力・歪曲線が変化し、また破壊限界も違ってくる（これを速度効果と呼んでいる⁵⁾）。高速の衝突では、熱力学的関係



(a) 衝撃速度

(b) 衝撃速度

2.0m/sec

4.3m/sec

写真 1 モルタル版の衝撃実験における破壊例

式を含んだユゴニオの式が構成方程式になる。

(2) 衝撃の速さが大きくなる程、発生応力波も大きくなり、それによる応答(衝撃的応答)のしめる割合が増加してくる。

耐衝撃設計を行なうには、対象となる衝撃によって発生する応答の種類と大きさを計算で求めるなければならない。そのためには、コンクリート及び鉄筋について上記の速度効果と応力波に関するデータを整備する必要がある。速度効果は、できるだけ応力波の発生を拘束した高速載荷実験から得られる。

3. 衝撃的応答と準静的応答

衝撃による応答が、衝撃直後ただちに発生するいわゆる衝撃的応答と、やや時間をあいて広い範囲にわたって生ずる準静的応答の二つからなることは、モルタル版の衝撃実験でも認められる(図-1)。この実験は、試験体(50×50×10cm)の表面に、衝撃によって発生した応力波を透過させて行なった。図の水平軸は時間軸を、垂直軸は試験体表面及び裏面のゲージを貼った位置を表わすと同時に歪波の大きさも示している。斜め軸は、歪波を透過させるために使用した鋼柱を表わしており、歪波が伝播していく状況を示している。この図から裏面の破壊が衝撃直後に発生し、版のたわみによる破壊はかなり遅れて発生することがわかる。前者が衝撃的応答であり、後者が準静的応答である。衝撃的応答に対処するための鉄筋補強の方法は目下研究中であり後日報告する。準静的応答は、通常の弾塑性応答解析の方法によって行なうことができるが、この際、弾塑性係数は速度効果を含めた値を使う必要がある。例えば、落石等という鉄筋コンクリート擁壁の弾塑性応答計算を行なうとき(図-2)、擁壁自体、基礎地盤等のバネ係数にももちろん、衝撃体と擁壁間のめりこみバネ係数も、速度効果を考慮しなければならない。コンクリート壁面に鋼球をめりこませる場合、その抵抗力とめりこみ速度との関係を図-3に示した。この実験は、30×30×25cm(高さ)のコンクリート(βc=0.5)立方体に、直径8.5cmの鋼球を種々の速さでめりこませて行なった。図には、3段階の速度における抵抗力とめりこみ深さの関係が示されており、速度効果が認められる。コンクリートの圧縮、引張り及び鉄筋の引張応力の速度効果に関する研究は既に報告した。

4. おわりに

静荷重を対象とした設計方法と同様、耐爆・耐衝撃設計においても、予測される応答にもとづいた設計が行なわれなければならない。しかし、衝撃応答を一般的に予測することはまだ困難である。現在までの研究の概要を報告した。

(引文文献)

- 1) 竹田・藤本 外; I.C.M-1, Kyoto 1977, vol. II, 27~277.
- 2) 竹田・藤本 外; I.C.M-3, Cambridge 1977, vol. 3, 77~86
- 3) 竹田・藤本 外; コレクリート工学, vol. 15, No. 5 1977-5
- 4) 竹田・藤本 外; セメント技術年報 334号.
- 5) 竹田・藤本 外; コンクリート工学年次講演会 1981-6.

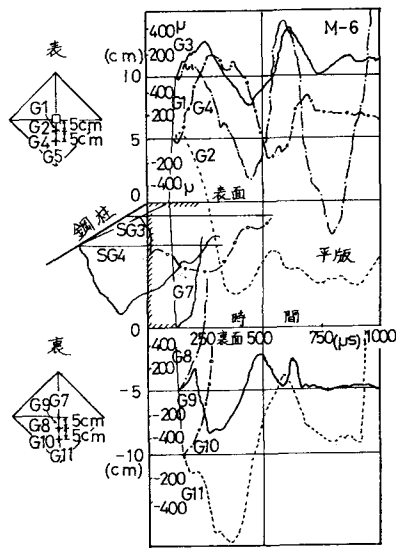


図 1

モルタル版衝撃実験における入射ひずみ波 (SG3, SG4) と透過ひずみ波 (G1~G11) (M 6 衝撃速度 8.9 m/s の場合)

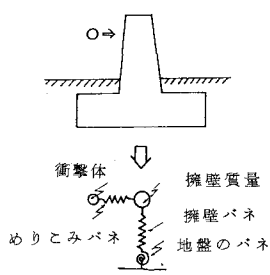


図 2

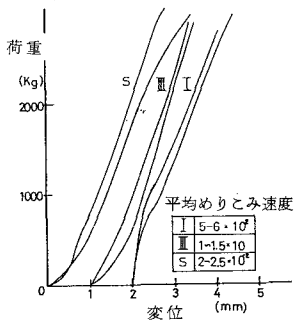


図 3

擁壁の構造モデル

載荷速度による

荷重・めりこみ変位曲線の変化