

[75] 衝撃をうける鉄筋コンクリート擁壁の変形と破壊

正会員 ○竹 田 仁 一 (防 大)
 正会員 宮 崎 修 輔 (国 鉄)
 正会員 植 木 博 (国 鉄)
 正会員 栗 原 啓 之 (国 鉄)

1. はじめに

Dr. Hopkinson が1872年、屋上から吊下げられた長さ27ft.の針金の衝撃引張り実験を行なって以来、幾多の実験が繰り返され、データが蓄積されたにもかかわらず、耐衝撃設計の問題は今日まで未解決のまま残されて来た。その理由は、材料の衝撃破壊の研究には二つのマイクロ、つまり、場と時間の両方のマイクロ状態を研究する手段が必要だからであると考えられる。材料の破壊現象に対する今日の知見は電子顕微鏡なしには考えられないように、衝撃破壊の研究にはそのうえ更に、数マイクロセックという微小時間内の衝撃応答を正確に計測する必要があるからである。進展をはばんで来たもう一つの理由は衝撃現象それ自身の複雑さの中にもある。筆者等の一人がかって報告したように¹⁾、この現象は二つの異なる応答、衝撃的応答と準静的応答の総合したものであり、従って単一の運動方程式で表現することができないばかりか、また現象全体に適用される相似則も殆ど見出されない。

一方、土木、建築構造物の設計において、耐衝撃の対策が要求される場合が日ましに多くなり、高性能の計測装置も開発されて研究は急速に進んで来た。塑性応力波理論の適用も有力な手法を与えた。

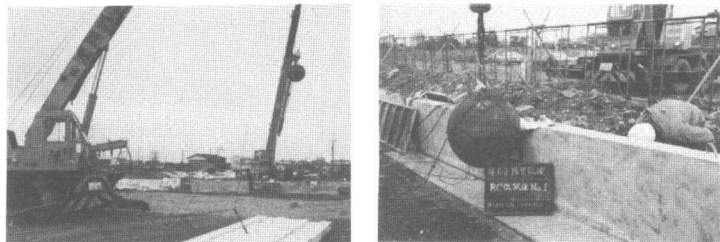
この報告は落石防止用鉄筋コンクリート擁壁の設計手法開発を目的として行なった一連の実験研究の一部であり、今日なお、解析を継続中である。

2. 大型擁壁模型衝撃実験

2.1 実験方法

実大寸法の約1/4とした試験体(図-1)を種々の拘束条件(表-1)で野外に設置し、トラックレーンで吊り下げた鋼球(重量1.23 ton、直径71cm)を衝突させて実験を行なった(写真1)。

試験体のまわりの土は関東ローム(多摩丘陵産)で、殆ど同一密度



実 験 状 況

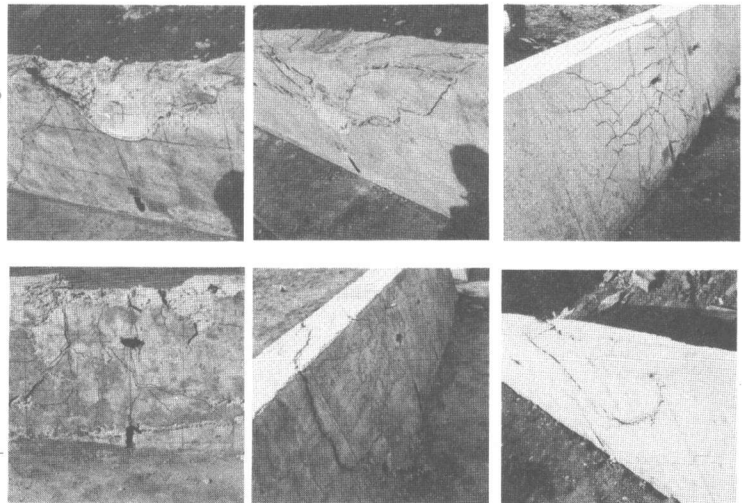


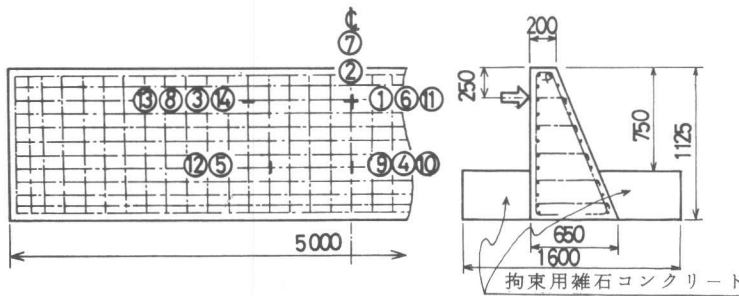
図 1

図 2

図 3

破 壊 例

写真-1 鉄筋コンクリート擁壁大型模型衝撃実験における実験の状況および破壊例



①-⑭はストレンゲージを示す。
ゲージ貼り付け位置は次のとおり。

打撃表面			⑨	⑭	
前鉄筋面	①	②	④	③	⑤
後鉄筋面	⑥	⑦		⑧	
背面	⑪		⑩	⑬	⑫

図-1 試験体の形状寸法およびストレンゲージ貼付位置

になるようつきかためた。

試験体用コンクリートおよび雑石コンクリート等に使用したセメントは早強セメントで、配合は2表である。実験時の材令は30~35日で現場養生による円筒圧縮強度は平均237kg/cm²であった。鉄筋はSD35、D-10を用いた。

計測は衝撃速度をカウンターで、歪をストレンゲージで、変位を光学および渦電流変位計で測定し、トランジエントレコーダーおよびメモリスコープに記録した。装置は周波数特性100 KHz以上のものを選定して使用した。なお、高速撮影も行なって解析にそなえた。

2.2 実験結果

衝撃はすべて同一条件で加えたが、衝撃速度の平均は、7.51m/sであった。破壊の数例を写真1に掲げた。必ずしも同一位置に命中していないので破壊の大きさまで比較することはできないが、それでもなお、試験体の種類による破壊のちがいが認められる。この実験は寸法を単純に拡大すれば高さ3mの擁壁に容積1~2m³の石が10m~5mの高さから転がりながら落下した場合に相当し、かなり大きな衝撃である。それにもかかわらず、単に土中に設置しただけのNo.3、6、7は実験後、廻りの土との間に3~5cmの隙間はできたものの、転倒はしていない。No.6の変位を背面の2点(図-2のAとB)の変位と時間との関係として画くと、図のように変位は極めて短時間に進行し、終了することがわかる。また拘束による変位のちがいも明瞭である。(図-2(a)、(b))。

一方、歪の計測によると図-3のように衝撃点付近の鉄筋の降伏は殆ど2ms以内におこり、そこから隔った点の歪はその後ゆっくり増加して行く。この傾向は拘束条件の違う場合も同様である(図-4)。衝撃点付近の鉄

表-1 試験体の種類と特徴

No	1, 5	2	3, 6, 7	4
鉄筋	タテ 15cm etc ヨコ 10cm etc	30cm etc 20cm etc	15cm etc 10cm etc	15cm etc 10cm etc
拘束用雑石 コンクリート	あり	あり	なし	なし
均等 コンクリート	5cm	5cm	なし	60cm

表-2 コンクリートの配合

	スランブ (cm)	空気量 (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)
供試体 コンクリート	12±2	4.5±1	165	280	801	1081
均等 コンクリート	"	"	166	222	868	1060
雑石 コンクリート	—	—	"	"	"	"

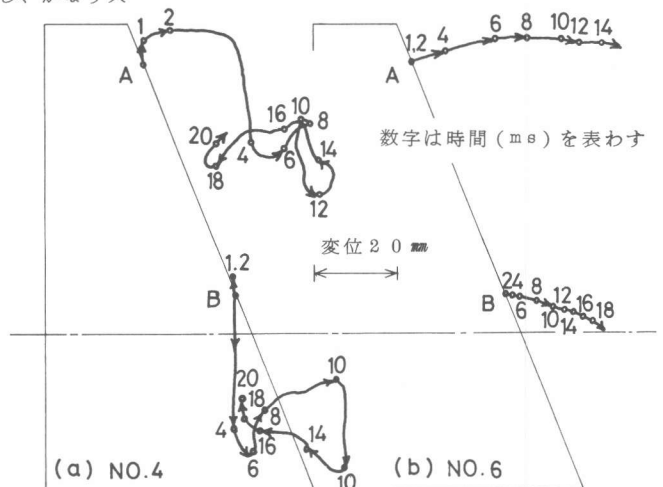


図-2 衝撃による擁壁の移動(背面の2点、A、Bの軌跡で示した)

筋は高速歪を生じ高い降伏点を示している。衝撃直後の衝撃点付近の応答がいわゆる衝撃応答といわれ、遠隔部までを含んだその後の応答、準静的応答と区別される。従って拘束の影響を受けるのは主として準静的応答の方である。

3. 耐衝撃設計へのアプローチ

耐衝撃設計を行なうには対象とする衝撃によって発生する擁壁の応答を定量的に予測することから始められる。もし、剛強な衝撃体が高速にR0擁壁に衝突すれば局部的な貫通孔または裏面剝離が生ずるであろう。このような衝撃的破壊を生じた後も衝撃体が大きな運動エネルギーを保持しているならば、それは準静的応答または破壊によって吸収される。しかし、現在のところ、前者の衝撃的応答を完全に予測し得る程研究は進んでいない。

一方、準静的応答の予測は比較的容易である。それには二つの方法がある。一つはTimoshenko²⁾の行なった方法で衝撃体と構造物間に作用する相互力がそれぞれの速度および、構造物の運動に関する範囲を変化させるとして、両者の相対運動と相互力との間の関係を積分方程式として求め、それを解くものと、もう一つはバネ質点系に置き換えて解く方法である。ここでは後者をとることとした。

3.1 擁壁のバネ常数と有効質量

擁壁のバネ常数を求めるため、先づ実大寸法の約 $1/40$ の鋼板模型(図-5)の等厚板に集中荷重による静的載荷実験を行ない、それと弾性理論解³⁾との比較を行なった。その結果、両者にはかなりよい一致が認められたので、

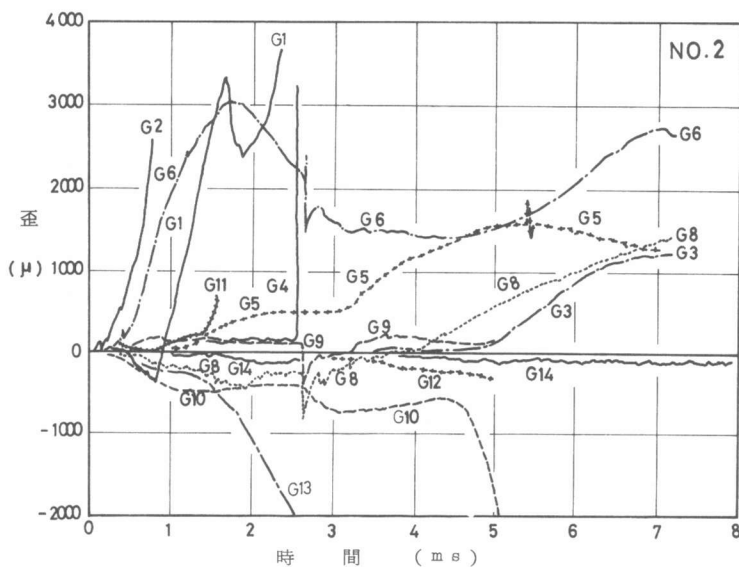


図-3 歪計測例 (No. 2)

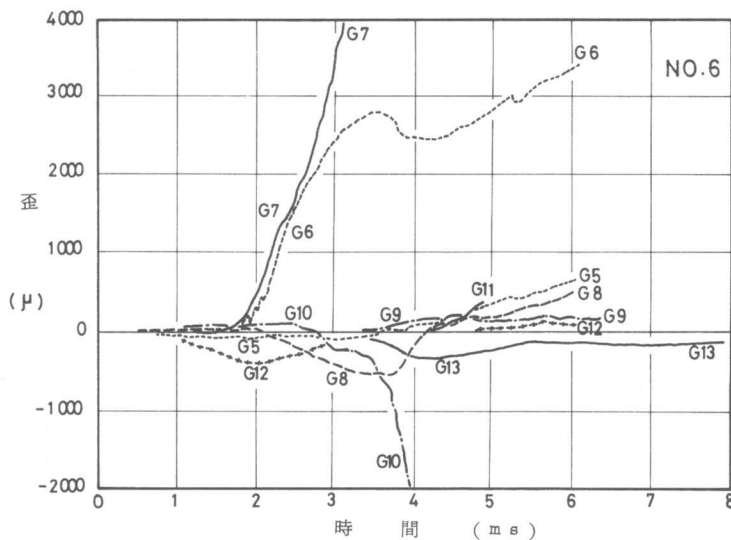


図-4 歪計測例 (No. 6)

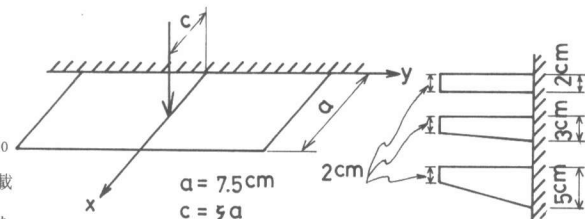


図-5 鋼板擁壁模型

等厚擁壁のバネ常数 \bar{k} として理論値から得た次の実験式を使い、衝撃の影響を無視することとした。

$$\frac{\bar{k}}{D/a^2} = \frac{5.984}{\zeta^{3.1}} - 10^{4.25-6.36 \times \zeta}$$

ζ : 载荷位置比 (図-5)、 D : 剛性係数
 a : 擁壁の高さ (図-5)

等厚でない場合のバネ常数 k は図-5の3種の鋼製模型の実験から得た係数 (図-6) を上に求めた \bar{k} の値に乘じて求めることができる。

換算バネ系の有効質量 M_e は次のように求められる。

$$M_e = \iint \phi^2 \rho \, dx \, dy,$$

ϕ : 規準振動形

ρ : 単位面積あたりの擁壁の質量

規準振動形を仮りに弾性たわみと同じと仮定して概算することができる。

3.2 むりこみバネ常数

モルタルおよびコンクリート版の表面に種々の大きさの鋼球を押し付け、むりこみ実験を行なった。その結果は Hertz の式とよく一致したが、次のことが問題として残された。先づ、むりこみ抵抗はむりこみ速度によってかなり変化すること。また鋼球ではなく、石またはコンクリート塊等がコンクリート表面にむりこむ場合、Hertz の式は成立しなくなるがその場合の実験式を求めておく必要がある。

3.3 準静的応答の予測

以上の準備の後、衝撃による擁壁の準静的応答を予測することができる。衝撃体 (落石とする) の質量はそのまま (図-7の M_0) とし、擁壁の質量は有効質量 M_e をとる。 M_0 と M_e との間のバネはむりこみバネであり、擁壁のバネには拘束バネも加える必要がある。計算は通常の振動解析によって行なわれる。種々の仮定と略算にもかかわらず実験値にかなり近い結果が得られた (図-8)。

4. 結論

- (1) 衝撃による RC 擁壁の応答は衝撃的応答と準静的応答の二つに分けることができる。
- (2) 衝撃的応答は擁壁の拘束条件によってあまり影響をうけないが準静的応答は大きな影響をうける。
- (3) 前者の予測は現在困難であるが、後者の予測は可能である。
- (4) 後者の予測の一方法として換算バネ系による方法を述べた。

[謝辞] この実験には防衛庁第4技術研究所、藤本一男氏外の協力を受けた。深く感謝する。

[参考文献]

- 1) 竹田外 : コンクリート工学, Vol.15, No.4, 1977-4, 1
- 2) Timoshenko, S.P. : Zeits. Math. Phys., 62, 1913, 198
- 3) Jaramillo, T. J. : J. Appl. Mech. 1950-3, 67

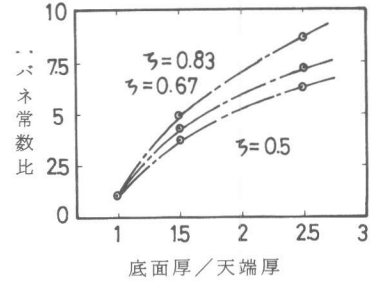


図-6 等厚版と異形版のバネ常数

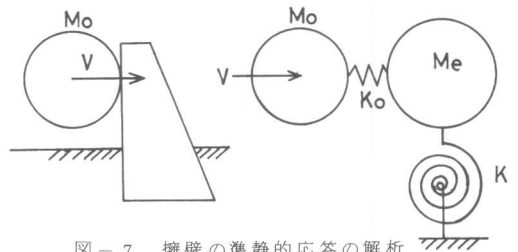


図-7 擁壁の準静的応答の解析

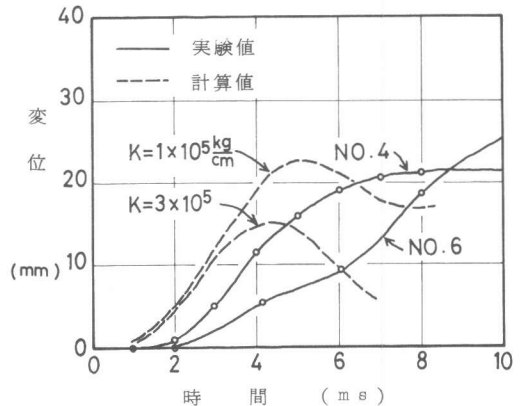


図-8 衝撃点の水平移動