

(8) PCスラブを用いた低速度重錘落下衝撃実験

室蘭工業大学 松岡 健一
 室蘭工業大学 岸 徳光
 電力中央研究所 大沼 博志
 日本大学 能町 純雄

1. はじめに

近年、山岳地帯や海岸地帯などの地形が急峻なところにある道路への落石や崩落による交通災害が度々報ぜられ、その対策としてのロックシェッドの安全性確保が重要な問題となっていることや、原子力施設など重要施設の飛来物に対する安全性確保の面からも土木建築構造物の耐衝撃性に関する研究が盛んに行われている^{1),2),3)}。特に、土木建築構造物に用いられる鉄筋コンクリート(RC)やプレストレストコンクリート(PC)構造の耐衝撃性に関しては、これらが鋼とコンクリートから構成される複合合成構造体であることから、衝撃初期のレベルより弾塑性的な挙動を示し、侵徹、裏面剝離、貫通等の現象が発生するなど、複雑な問題を含むため、いまだ十分明かではなく、構造物の合理的な耐衝撃設計法の確立に向け理論的、実験的研究が世界的に急がれている。

本研究では、このような観点よりプレストレストコンクリート床板の耐衝撃性を検討するため、床板模型を用いた重錘落下衝撃実験を行ない検討した結果を報告するものである。実験は、主に衝撃速度の低い弾性領域近傍の挙動を調べることが目的とし、重錘の加速度及び鉄筋に添付したひずみゲージによりひずみ波形を測定することによって、その衝撃特性に関する検討を行うこととした。

2. 衝撃実験

2.1 衝撃荷重載荷装置

衝撃荷重の載荷は落錘式万能衝撃試験装置(写真-1)を用いて行った。衝撃荷重は鋼製円柱であるハンマー($\phi=15.0\text{cm}$, $W=70\text{kgf}$)を所定の高さにセットし、自由落下させることにより発生させている。実験は四辺単純支持された場合について行うこととし、支持条件を単純支持の仮定により近づけるために、PC矩形板の四辺を上下から鋼製ローラーを用いて支持している。ここでは、主に弾性領

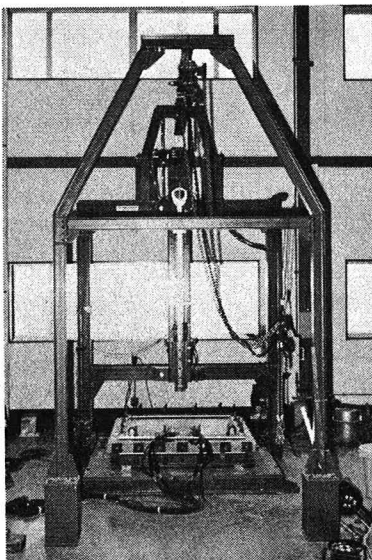


写真-1 衝撃載荷装置

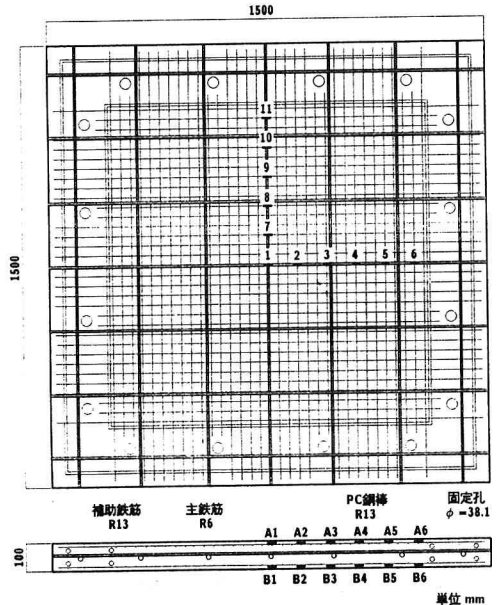


図-1 ゲージ位置及び配筋図

域近傍の挙動を検討することとし、重錘の衝突速度を1~4m/secと変化させ、試験体中央部に載荷している。

2.2 プレストレストコンクリート矩形板

試験体の寸法は150×150×10cmであり、鉄筋比がおよそ片側1%の複鉄筋断面とし、床板初期応力を50 kg/cm²にするために各方向に直径13mmのPC鋼棒を配置した。ゲージの貼付位置及び配筋図を図-1に示す。試験体の製作には普通ポルトランドセメントを用いたレデーミクストコンクリートを使用し、設計基準強度が400kg/cm²になるように配合を行っている。なお主鉄筋にはR6を、支持辺近傍の補助鉄筋にはR13を使用している。プレストレスの導入は床板の上下面にひずみゲージを添付し導入応力を管理して行っている。プレストレス力はほぼ両端部鋼棒に7.5ton、内部の鋼棒に12ton導入している。本研究では同一のスラブを8体製作し、実験を行っている。

2.3 計測方法

計測システムのフローチャートを図-2に示す。ハンマー側面に加速度計(容量1000g, 500g)を取り付け、波形を測定している。さらに、試験体裏面中央にも試験体の動的挙動を検討するために同様の加速度計を取り付けている。また、試験体の鉄筋ひずみの時間履歴の測定にはひずみゲージ(ゲージ長2mm, ゲージ抵抗120Ω)を用いた。加速度計及びひずみゲージはブリッジボックスを通して高周波成分も測定可能なアンプを用いて増幅し、データレコーダーに記録している。記録された波形の再生は、データレコーダーの出力をウェーブメモリーを介して任意の時間軸に拡大し、バッファアンプを通してフォトコーダーからオシロベーパーに記録したり、シンクロスコープに静止画像を発生させ写真撮影することにより行っている。

3. 実験結果

図-3,4に、重錘の衝突速度1m/secと4m/secの場合の重錘加速度および鉄筋ひずみの応答波形をそれぞれ示した。(a)は重錘の加速度波形で、 W_{ac1} , W_{ac2} はそれぞれ重錘の左右に設置したものであり、全サンプリング時間は

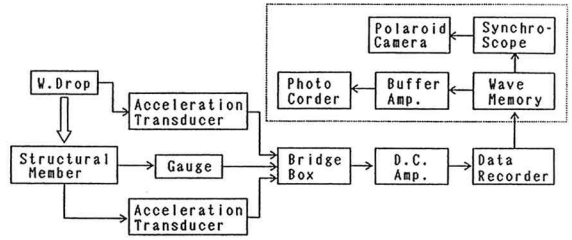


図-2 計測システムのフローチャート

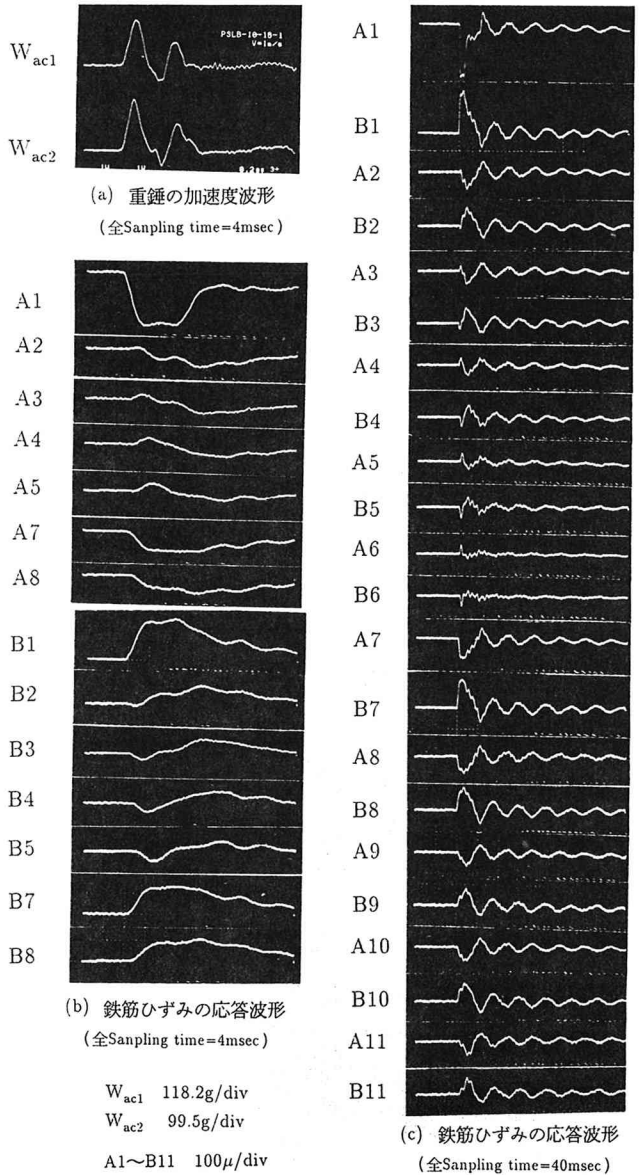


図-3 加速度および歪の応答波形図(v=1m/sec)

4msecである。(b),(c)は鉄筋ひずみの応答波形であるが、(b)は全サンプリング時間が4msec、(c)は40msecで、(b)には全てのひずみ波形を示さなかった。

衝突速度1m/secの結果(図-3)では、加速度は左右ほぼ同一の波形を示し、重錘が均等に衝突していることがうかがえる。波形は、大きく二つのピークをもち、最大加速度は最初のピークで、 W_{ac1} が約260g、 W_{ac2} が約240g、平均約250gである。

鉄筋ひずみは、Aが上側、Bが下側のひずみを示しているが、(c)図から明かなように載荷点直下を除き各点とも、上下ほぼ逆対称の波形を示し、残留ひずみも見られず、衝撃の初期に大きな応答を生じ、次第にこの床板の最低次自由振動周期に近い周期約5.1msec、減衰定数約8~10%の減衰自由振動状態に移行しているなど、ほとんど弾性的に挙動している。また、最大ひずみは載荷点直下で、上側で240 μ m、下側で200 μ mと、この場合は上側で大きなひずみとなっている。A2、B2ではどちらもほぼ100 μ mであり、3~6へと支点に近づくに従ってひずみは減少している。これに対し、これと直角方向の7~11のひずみは、A7、B7では、A2、B2より多少大きく支点に近づいてもあまり減少せず、A11、B11でも50 μ m位の最大ひずみを生じている。

(b)図は、1~5、7、8のみ時間を拡大して示した。これから明らかなように2~5点のひずみは衝撃の極初期に符号の逆転現象がみられ、波動の先端が固定端のようになっていることがわかる。これと直角方向の7、8にはその傾向はみられないこともこれを裏付けている。また、(b)図から衝撃の伝播速度は約1500m/secとなりほぼせん断波の速度であることがわかる。

衝突速度4m/secの結果は図-4に示したが、この場合も加速度は左右ほぼ同一の波形を示し、 W_{ac1} が約1550g、 W_{ac2} が約1360g、平均約1450gである。

鉄筋ひずみの応答波形は(c)に示すように、この場合では全体として下側のひずみが大きく、最大ひずみはB1で約1000 μ m上側の最大ひずみはA1で約200 μ mである。これは衝撃によって初期の段階で下側のコンクリートは引張り強度を越えひび割れが生じていることを示している。しかし、プレストレスを導入しているため、衝撃が除荷されれば、ひび割れは閉じ残留ひずみも生じなくなるものと思われる。また、波形は衝撃の初期に大きくその後急激に減少しやはり減衰自由振動に移行しているが、このときの周期は約5.6msecとなり、1m/secの時より長くなっている。これは、先に述べたように初期のひび割れによって板の剛性が低下したためと思われる。(b)図には時間を拡大して示したが、

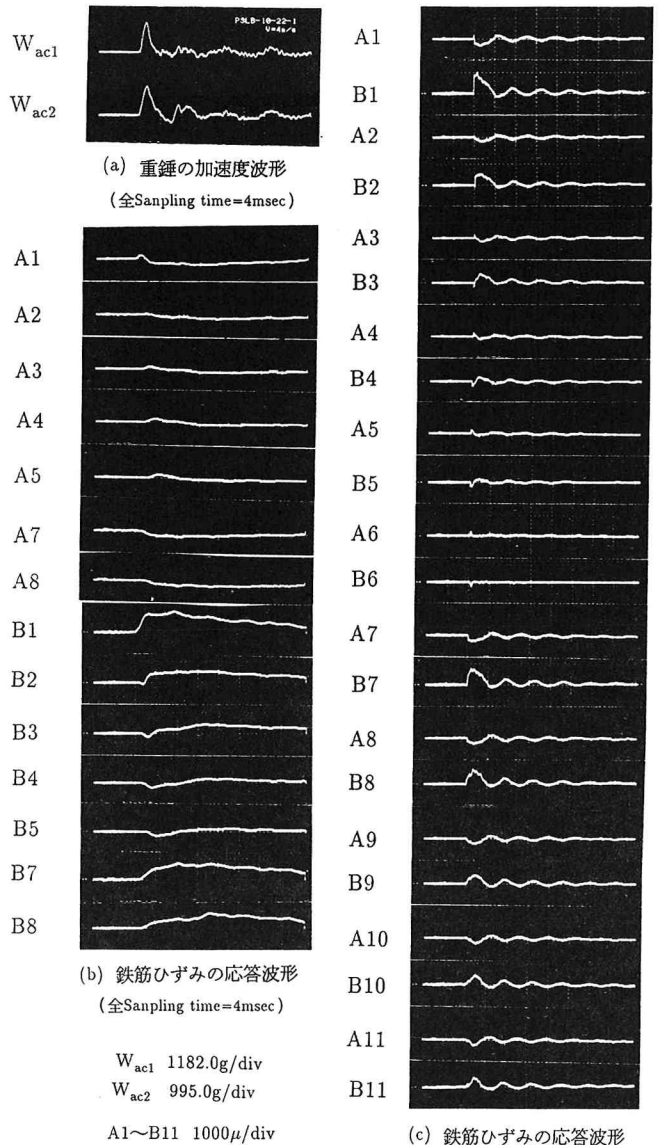


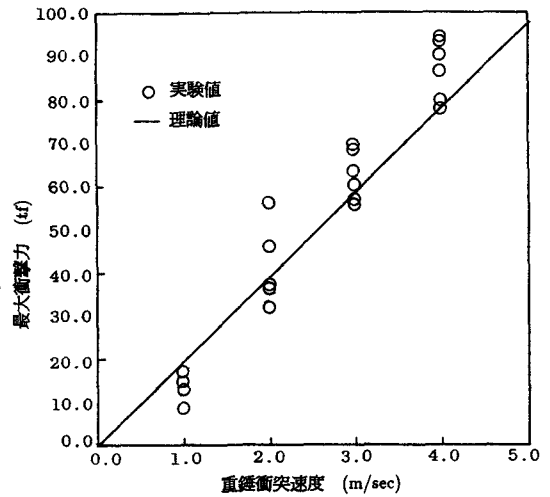
図-4 加速度および歪の応答波形図($v=4m/sec$)

傾向は1m/secのものと同様である。

図-5には、最大衝撃力（ハンマーの加速度より算定）と衝突速度との関係について、弾性接触論⁴⁾に基づいて求められる衝撃力と比較して示している。

弾性接触論では、断面は全断面有効とし、鉄筋も考慮した剛性を用いて衝撃力を求めている。また、床板は四体ずつ、二度に分けて打設しており、両供試体の弾性係数に僅かの違いがみられるが、この補正も行っている。

図から明かなように、実験値はかなり変動があり、衝突速度1m/secのものとは4m/secのものは特に変動が大きいが、全体としてはほぼ理論値に近く、この程度の衝突速度まではPC床板は、プレストレスの効果により弾性的に挙動し、弾性接触論より得られる衝撃力を用いて衝撃力を評価できることを示している。



弾性係数 $E=330000\text{kgf/cm}^2$
 ポアソン比 $\nu=0.2$
 重錘半径 $a=7.5\text{cm}$
 重錘重量 $W=70\text{kgf}$
 スラブ単重 $\gamma=2.5\text{tf/m}^3$

図-5 最大衝撃力と衝突速度との関係

4. まとめ

プレストレスコンクリート構造物の耐衝撃性検討の基礎的資料を得ることを目的として、四辺単純支持PC床板を製作し重錘による衝撃実験を行った。ここでは、弾性領域近傍の挙動を解明するため70kgfの重錘を最大4m/secの速度で落下させた。

その結果、

- 1). 衝撃初期には波動が伝播するに従い、先端が固定端のように挙動する。
- 2). 長期的には、床板は減衰定数が8~10程度の最低次の減衰自由振動状態になる。
- 3). 衝撃波は、速度約1500m/secのせん断波速度で周辺に伝播している。
- 4). 衝撃速度4m/secの場合の鉄筋ひずみは、ひび割れの影響により下側に大きなひずみを生ずるものの、プレストレスの効果により残留ひずみはほとんど生じていない。
- 5). 衝突速度1m/secの場合の鉄筋ひずみは、載荷点直下を除けば全体として上下対称の弾性的ひずみ分布を示している。
- 6). 衝突による衝撃力は、この程度の速度までは弾性接触論より得られる衝撃力で評価できる。

ことが明らかになった。なお、より高速度での実験を現在実施中である。

本研究の実施にあたり、室蘭工業大学技官田中功氏、及び大学院生佐藤匡之、西弘明両君の協力をいただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1). Ohnuma, H., C. Ito, N. kishi and S.G. Nomachi : On the Impact Behavior of Reinforced Slab, Transactions of the Japan Concrete Institute, 1984.
- 2). Ohnuma H., C. Ito : Experiment and FEM Analysis of Impact Behavior of Prestressed Concrete Slabs Subjected to a Hard Projectile, Transactions of the Japan Concrete Institute, 1985.
- 3). 藤井 学, 宮本文徳 : 衝撃荷重下におけるコンクリート構造物の挙動, コンクリート工学, Vol.21 No9, 1983.9.
- 4). 三上敬司, 能町純雄, 松岡健一, 岸徳光 : 落石による落石覆工への衝撃力に関する評価, 構造工学論文集, Vol.33A, 1987.3.