

打撃法によるコンクリート構造物の劣化診断法に関する基礎的研究

九州大学大学院 学生会員 池島 傑 九州大学大学院 正会員 園田 佳巨  
 防衛大学校 正会員 作田 健 防衛大学校 正会員 香月 智

1.緒言

近年、コンクリート構造物を始めとした既設構造物に対して合理的な維持補修計画を立て、ライフサイクルコストの低減を図ることが求められている。このためには、手遅れにならない時期に損傷状況を検知し、適切な維持補修を行なう必要がある。しかし、損傷の程度を評価する方法は多種多様であり、適切な手法の選択と構造物に対する高精度な解析を併用した検討が望ましいと考えられる。そこで、本研究では、コンクリート構造物の状態の変化を定量的に検知可能な簡易な診断法を検討するために、疲労試験に準じた要領でコンクリート供試体の損傷進展を再現し、定期的に行なう打撃荷重に対する加速度データをモニタリングデータとして測定した。また、簡易な手法を確立するための一つの検討として、損傷力学の概念を用いて供試体内部の損傷状態をモデル化した後、打撃試験のシミュレーションを行なうことで加速度応答と損傷状態の関連性について考察を行なった。

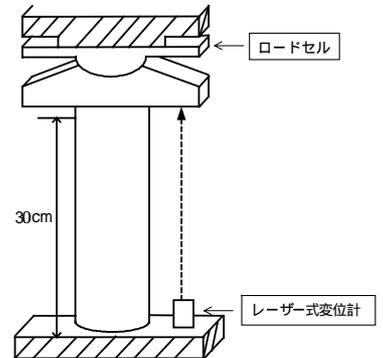


図-1 繰り返し载荷装置

2.実験要領および実験結果

実験に用いたコンクリート供試体は図-1,2 に示す直径10cm および高さ30cmの円柱供試体であり、実験の設定値は表-1 に従った。図-2 に示すようにひずみゲージにより供試体のひずみを計測し、また、打撃によるモニタリングについては加速度計を計3箇所に設置し、滑り台を設け、鋼球を転がしコンクリート供試体に打撃を与えることで計測した。

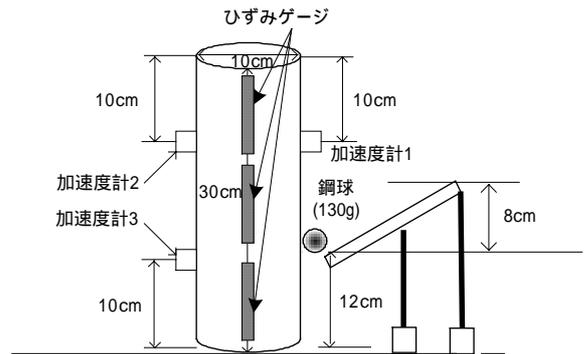


図-2 加速度計測装置

繰り返し载荷実験により得られた最大ひずみ～载荷回数との関係を図-3 に示す。初期の最大ひずみは1020(μ)であったものが徐々に増加しており、900 回载荷時では1070(μ)、1800 回载荷時では1130(μ)と最大ひずみに差が見られ、破壊直前の1900 回で1150(μ)にまで増加し、繰り返し载荷が進むにつれて損傷が進展していく様子が確認できる。打撃試験による加速度応答に関しては解析結果の考察とともに紹介する。

表-1 繰り返し载荷実験の設定値と結果

設定荷重 (最大圧縮強度に対する割合)	モニタリング 間隔(回)	破壊に至った回数 (回)
90%	900 回ごと	2000 回 $\times$

3.解析手法

3.1 損傷力学の概念

損傷力学は材料の損傷を微視レベルにおける空隙の生成・成長によると考え、それらの影響を力学的に等価な応力場で評価する手法である。損傷力学では、材料の劣化・損傷を断面レベルにおける部材の有効断面の減少と解釈し、式(1)および図-5 に示すようなイメージをもとに評価された損傷変数  $D$  を用いて部材剛性の低下を評価する。

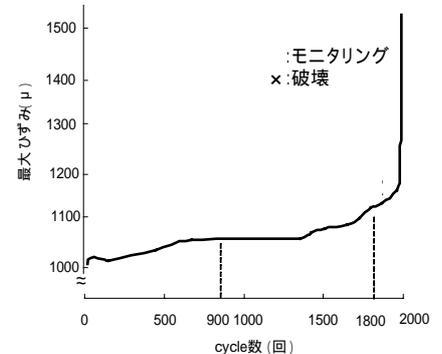


図-3 最大ひずみと载荷回数

キーワード 繰り返し载荷実験, 損傷力学, 弾性衝撃応答解析

連絡先 〒812-8581 福岡県福岡市東区箱崎 6-10-1 TEL 092-642-3262

$$D = \frac{A_D}{A_0} \quad \dots(1) \quad \begin{cases} A_0: \text{全断面面積} \\ A_D: \text{抵抗力を失った断面面積} \end{cases}$$

本研究では、この損傷変数を簡易なスカラー量で定義した。したがって、構成式は要素内部に損傷の影響に等方性を仮定した以下の式(2)で表される。

$$\sigma_{ij} = (1-D)E_{ijkl}\varepsilon_{kl} \quad \dots(2) \quad \begin{cases} \sigma_{ij}: \text{応力テンソル} & \varepsilon_{kl}: \text{ひずみテンソル} \\ E_{ijkl}: \text{弾性係数} & D: \text{損傷変数} (0 \leq D < 1) \end{cases}$$

3.2 損傷力学の導入

本研究では、繰り返し载荷実験の図-3 から損傷状況の異なる次の6点に着目した。健全時：0cycle（最大ひずみ 1020 μ），900cycle（最大ひずみ 1070 μ），1800cycle（最大ひずみ 1130 μ），1900cycle（最大ひずみ 1150 μ），破壊過程 Case1（最大ひずみ 1300 μ），破壊過程 Case2（最大ひずみ 1400 μ）。各点における割線剛性の変化を図-4 に示す。

図-4 を用いて健全時の剛性からの低下率を求め、それらを試験体の損傷変数 D とした。求めた値を式(2)に用いることで、各損傷状態を再現して打撃試験のシミュレーションを行った。

3.3 FEM 解析モデル

図-6 に弾性衝撃応答解析に用いた解析モデルを示す。10 × 10 × 30cm の角柱供試体を対象とし、A、B、C の各節点（加速度計測点）において、加速度応答を算出した。

4. 加速度応答の比較

図-7(a)に打撃試験における加速度計 2 の応答値を、図-7(b)に解析による加速度計測点 B の加速度応答をそれぞれ示す。図-7(a)から、衝撃実験においては健全時の方が 1900cycle 時より最大加速度が 30%程度大きくなっているが、周期には大きな差異は確認できないことがわかる。

また、図-7(b)から、試験体の損傷度を 1900cycle 時の最大ひずみに対する割線剛性の低下率で考慮した簡易モデルでは、加速度応答には明確な違いが確認できないが、1300(μ)時の最大ひずみに対する割線剛性を用いれば、実験同様の加速度応答の低減が確認できた。

5. 結言

今回の繰り返し载荷実験と打撃試験の結果から、コンクリート供試体内部の損傷状態が、打撃試験による最大加速度に対して有意な影響を与えることが確認できた。しかし、今回用いた割線剛性による簡易損傷モデルでは、実験で得られた加速度の変動を解析的に得ることができなかった。今後、試験体内部の損傷度分布を適切にモデル化する手法を考案し、数値解析により損傷状態を定量的に把握できる解析法を確立する必要があると考えられる。

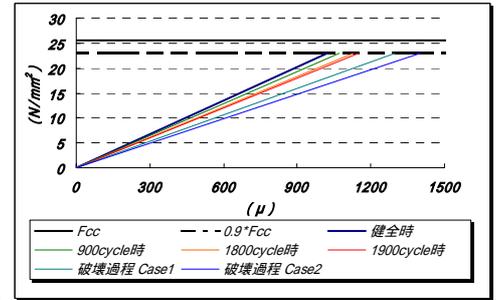


図-4 割線剛性の変化

表-2 解析に用いた材料定数

ヤング係数(N/mm <sup>2</sup> )	25.5
ポアソン比	0.19
密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.45

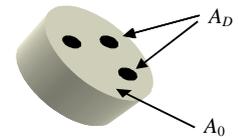


図-5 損傷の定義

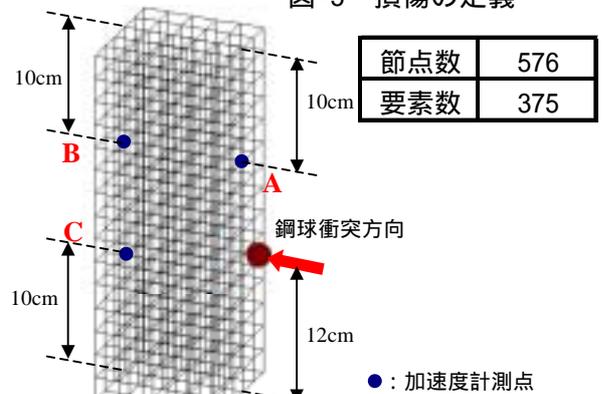
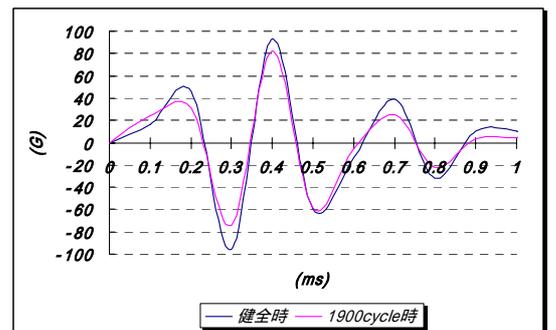
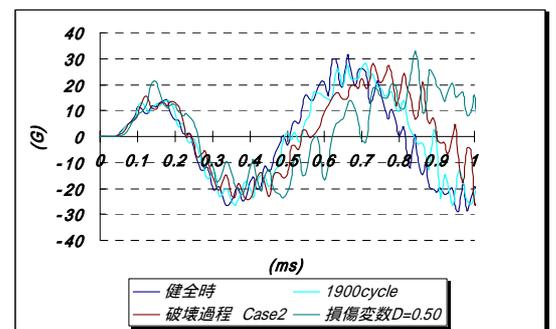


図-6 解析モデル



(a) 衝撃実験（加速度計 2）



(b) 弾性衝撃応答解析（加速度計測点 B）

図-7 加速度応答