

境界要素法を用いた超硬練りコンクリートの振動締固め挙動の解明に関する研究

國居史武¹・野上圭一²・横山禎之³・大津政康⁴

¹学生会員 工修 熊本大学博士後期課程 大学院自然科学研究科環境共生科学専攻
(〒860-8555 熊本市黒髪2丁目39-1)

E-mail:013d9602@gsst.stud.kumamoto-u.ac.jp

²学生会員 熊本大学博士前期課程 大学院自然科学研究科環境土木工学専攻
(〒860-8555 熊本市黒髪2丁目39-1)

³正会員 工修 東亜道路工業株式会社 大阪営業所工事部
(〒578-0913 大阪府東大阪市野中41)

⁴正会員 工博 熊本大学教授 大学院自然科学研究科環境共生科学専攻
(〒860-8555 熊本市黒髪2丁目39-1)

超硬練りコンクリートの振動締固め挙動を解明することを目的として、振動締固め試験において間隙水圧と応答加速度の計測を行った。間隙水圧の非定常状態から定常状態への遷移についてはAE発生挙動の変化により検討した。また、初期材齢におけるコンクリートの透水係数、位相速度、Q値の物性値の変化を検討した。これらの値を用いて、締固め度の不均質性を考慮した固相-液相の二相問題の境界要素法(BEM)解析により定常振動場における間隙水圧分布と応答加速度分布を検討し、計測結果との一致を確認した。さらに、初期硬化過程での振動締固め中のコンクリートの挙動についても考察した。

Key Words : zero-slump concrete, dynamic compaction, boundary element method, two-phase model, acoustic emission

1. はじめに

RCD 及び RCCP 工法は省力化や施工の急速化を目的として、超硬練りコンクリートを振動ローラによって締固めを行う工法である。広い作業空間を利用した効率的な機械化施工が可能で、かつ施工費用の削減、施工日数が短縮できるなどの特徴を有していることから、今日では施工法の主流となっている。これらのコンクリートは十分な締固め度の得られるコンシステンシーを備えていることが重要で、このような超硬練りコンクリートのコンシステンシーの測定には、VC 試験が用いられている。一般に VC 値は 20 秒程度が標準とされており、この状態で理論密度の 97% 程度の締固めが可能とされている。

しかし VC 値によるコンシステンシー管理は日常の施工管理に適用されているにとどまっており、その締固め機構は完全に解明されているとは言えないとされている¹⁾。例えば RCD 工法において締固め度は沈下量によって評価されているが、施工日数短縮のためにその層

厚は厚くなってくると、沈下量のみで締固め度を評価することは困難になると考えられる。これらの理由から、物性値評価も含めた振動締固め過程の理論的定量化の重要性が指摘されている。さらに、コンクリートの締固め機構を明らかにすることは、今後の施工法の改良においても重要であると考えられる²⁾。

本研究では、超硬練りコンクリートの振動締固め試験において間隙水圧と応答加速度の測定を行った。その非定常状態から定常状態の遷移についてはアコースティック・エミッション(AE)の計測により検討する。また、初期材齢における超硬練りコンクリートの透水係数、位相速度、Q 値の測定を行った。そして、固相-液相の二相問題のモデル化に基づき、超硬練りコンクリートの振動締固め挙動を多孔質弾性体の弾性波動現象として、境界要素法(BEM)解析を行った。これにより、定常振動場における間隙水圧と応答加速度を数値解析し、実験結果との比較検討を実施した。

表-1 コンクリートの配合表

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	W/B (%)	s/a (%)	単体量 (kg/m ³)				
				水 W	セメント C	フライアッシュ F	細骨材 S	粗骨材 G
20	0	35	38.5	113	226	97	780	1274

表-2 コンクリートの材料特性

圧縮強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	ポアソン比
47.5	36.2	0.21

2. 解析理論

フレッシュコンクリートの動的締固め過程を取り扱う場合には、主として振動力の伝播を対象とした解析となる。超硬練りコンクリート振動締固め機構に関する解析的な研究は通常のコンクリートに比べて極めて少なく、表面振動機を用いた場合の締固め機構を取り扱った解析的な研究は非常に少ない。フレッシュコンクリートの振動締固め機構に関しては、一次元伝播解析³⁾や一質点系振動モデルによる振動ローラとコンクリートの相互作用などのレオロジー特性に着目した研究⁹⁾、コンクリートの締固め性と振動エネルギーの関係を検討した研究⁹⁾などが行われている。このように、コンクリート内部を伝わる波動にフレッシュコンクリートの振動による液化化作用を考慮した解析は報告されていない。

そこで、固相、液相それぞれについてのつり合い式、質量保存式を連成させ、振動を与えた時のコンクリート内での変形と間隙水圧の挙動を明らかにすることにした。

Biotの二相混合体理論⁷⁾に基づいて、解くべき変位 u_i 、間隙水圧を p とする定式化を行うと、固相のつり合い式は以下ようになる。

$$\rho(-\omega^2)u_i = (\lambda + \mu)u_{j,j} + \mu u_{i,jj} + p_{,i} \quad (1)$$

液相の連続式は

$$p_{,ii} = -\left(\rho^f \omega^2 + \frac{\gamma_w}{k} i\omega\right)u_{i,i} \quad (2)$$

ここで、 ρ ：固相の密度、 λ 、 μ ：Lameの定数、 $\omega(=2\pi f)$ ：円振動数、 ρ^f ：液相の密度、 γ_w ：液相の単位体積重量、 k ：透水係数である。

式(1)と(2)を連成させ、骨材と結合材を固相、水を液相として取り扱い、固相-液相の二相問題を境界要素法(BEM)により動的解析⁹⁾を行った。なお、式(1)中の弾

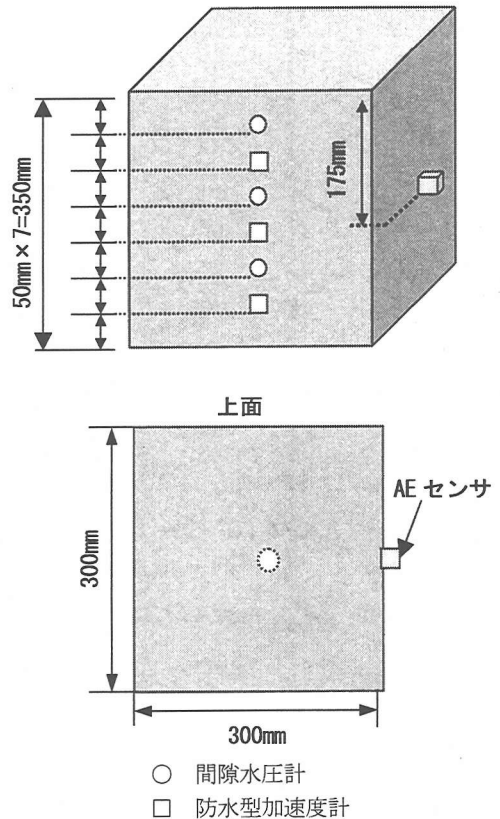


図-1 振動締固め試験の概要

性定数 λ 、 μ は複素数として粘性の影響も考慮する。式(1)は圧力勾配を含むことにより振動荷重を与えたときの変位に液相の圧力の影響が考慮されることになる。粘性の影響を考慮するためにはQ値を導入し、材料特性に物性値測定の結果を与えることにより、間隙水圧分布と応答加速度分布を解析した。

3. 実験概要

(1) 振動締固め試験

超硬練りコンクリートには既報⁹⁾を参考に、表-1に示す粗骨材の最大寸法20mm、細骨材率38.5%、スランプ値0cm、普通ポルトランドセメントを用いた配合のコン

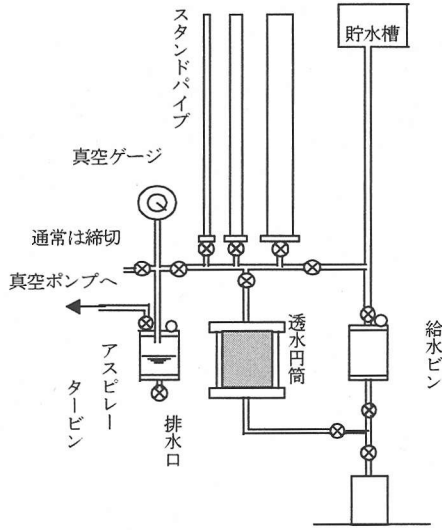


図-2 変水位透水試験装置

クリートをフレッシュ状態で使用した。このコンクリートの水中養生した後での材齢28日における力学特性を表-2に示す。振動締固め試験では、図-1に示す幅300mm、奥行300mm、高さ350mmの木製型枠に超硬練りコンクリートを打設し、間隙水圧計(型式 BP-RS)を深さ50mm、150mm、250mmの3ヶ所に設置した。また、防水型加速度計(ARH-100A、応答周波数範囲0~180Hz)を深さ10cm、20cm、30cmの3ヶ所に設置し、DR-F1(TEAC社製)を用い、サンプリング周波数2kHz、データ抽出間隔を10秒とし、応答加速度の計測を行った。打設したコンクリートの上に厚さ5mmの鋼製の蓋をし、起振器で1.74kPaの荷重載荷した状態で加速度1Gで130Hzの振動を与えた。型枠外面の深さ175mmにはAEセンサ(UT1000、共振周波数1MHz、Physical Acoustics社製)を取り付け、80dB増幅、閾値42dBに設定して、AE測定装置(PACbus、Physical Acoustics社製)により計測を行った。なお、AEの計測時間は間隙水圧の値が一定となる定常状態が確認できるまでとした。

(2) 透水係数と位相速度の測定

式(1)、(2)より解析に透水係数と弾性係数が必要であることから、透水係数については変水位透水試験(JIS A 1218)⁹⁾、弾性係数については超音波パルス伝播速度試験により測定を行った。変水位透水試験は図-2に示す装置において、直径100mm、高さ127mmの透水円筒に表-1の超硬練りコンクリートを充填後、振動締固め試験と同

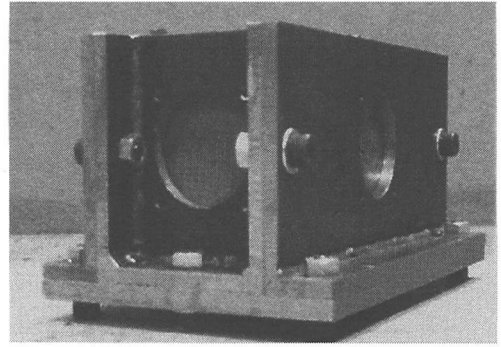


図-3 物性値測定専用型枠

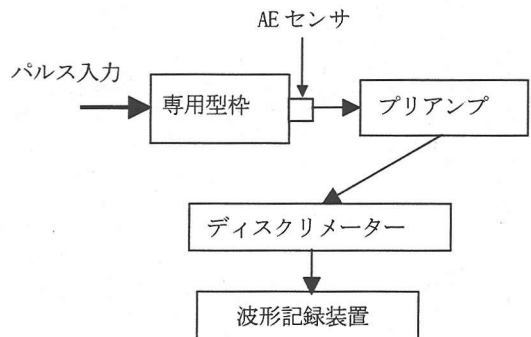


図-4 Q値測定装置

様の条件により振動を負荷し供試体を作製した。その後、このコンクリートを減圧給水法により飽和状態にし、透水係数の測定を行った。

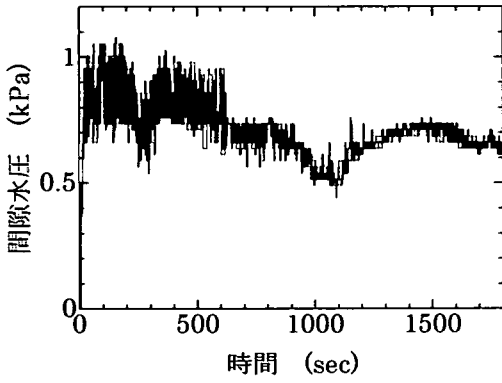
コンクリートの弾性係数は、図-3に示す鋼と厚さ5mmのアクリルからなる幅100mm、奥行200mm、高さ127mmの専用型枠に同様な振動締固めによりコンクリートを作製し、携帯用超音波非破壊試験器(SIT-021型)によりコンクリート中を通過する弾性波の位相速度 v_p から決定した。

(3) Q値の測定

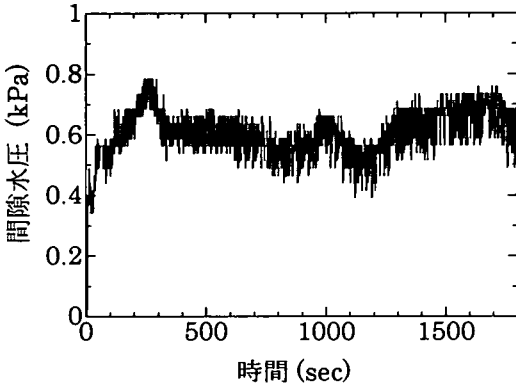
コンクリート材料は完全弾性体ではないため、弾性波はその伝播過程で波動エネルギーを失っていく。エネルギー E をもつ波動が一波長の距離を伝播する間に失うエネルギーを ΔE とすれば、材料の粘性減衰特性値 Q 値は、次のように定義される¹⁰⁾。

$$Q = 2\pi \frac{E}{\Delta E} \quad (3)$$

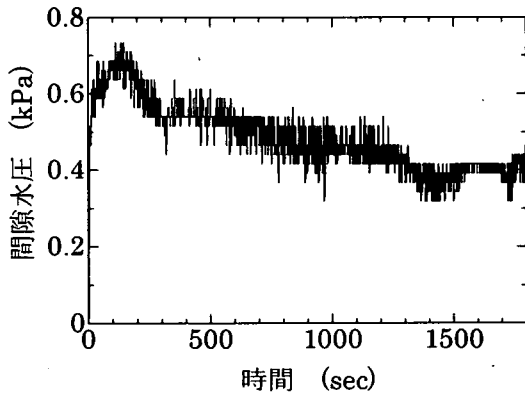
Q値は式より分かるように、粘性減衰の小さい材料ほど



(a) 深さ 50mm

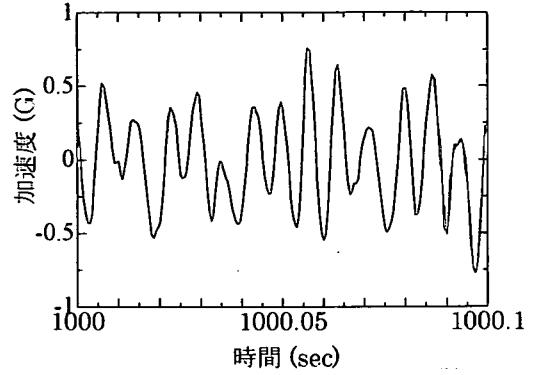


(b) 深さ 150mm

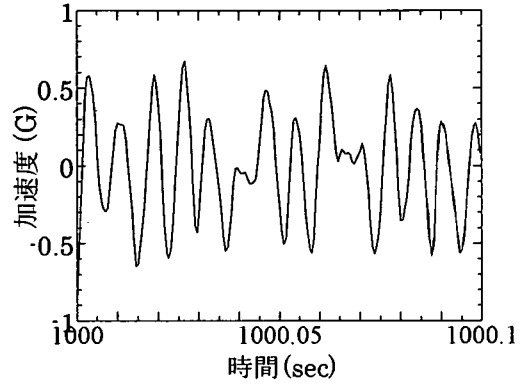


(c) 深さ 250mm

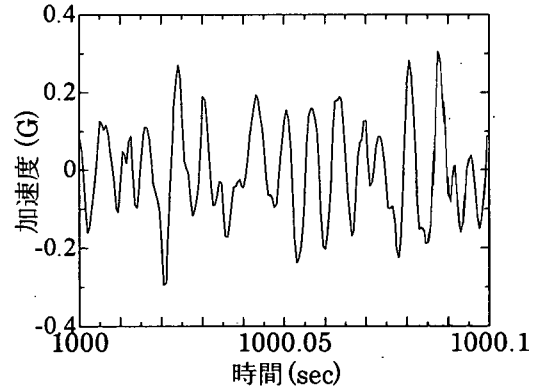
図-5 実験結果 (間隙水圧)



(a) 深さ 100mm



(b) 深さ 200mm



(c) 深さ 300mm

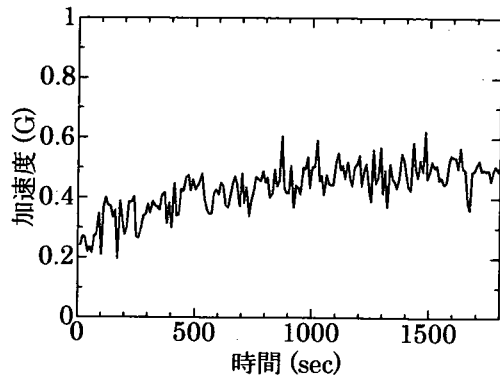
図-6 応答加速度波形

ど大きくなる量で、完全弾性体ならば $\Delta E=0$ で、 Q 値は無限大となる。材料内のAE波の伝播過程における周波数 f の成分の振幅の変化率を $U(f)$ とすれば、 Q 値と伝播距離 d と周波数の関係は、次のように表せる¹⁾。

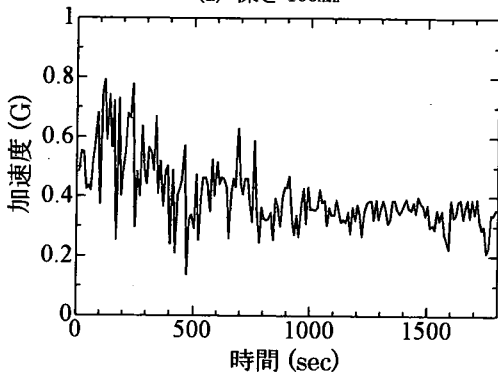
$$U(f) = \exp\left(-\frac{\pi f}{V_p Q} d\right) \quad (4)$$

ここで、 V_p は波動の伝播速度である。式(4)に見られるように、減衰は距離 d と周波数 f の関数であり、高周波数成分ほど早く減衰することがこの減衰則の特徴である。

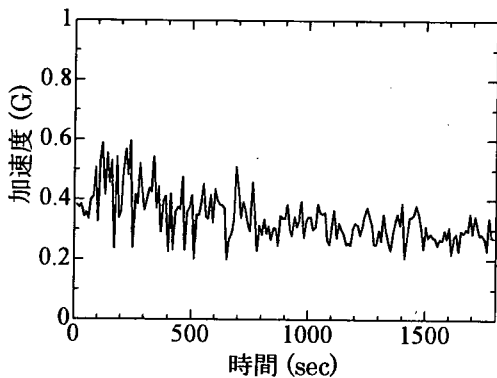
Q 値を考慮すれば、式(1)、(2)の定常状態における波数



(a) 深さ 100mm



(b) 深さ 200mm



(c) 深さ 300mm

図-7 応答加速度の経時変化

$k_w = \omega / V_p$ は複素数となり、次のように表される。

$$k_w = \frac{2\pi f}{V_p} + \frac{i}{2Q} \frac{2\pi f}{V_p} \quad (5)$$

図-4にQ値の測定装置の概要を示す。図-3の供試体を用いて、アクリル部にシャープペンシルの芯圧折によりパルスを入力させ、他端で弾性波を検出した。AEセン

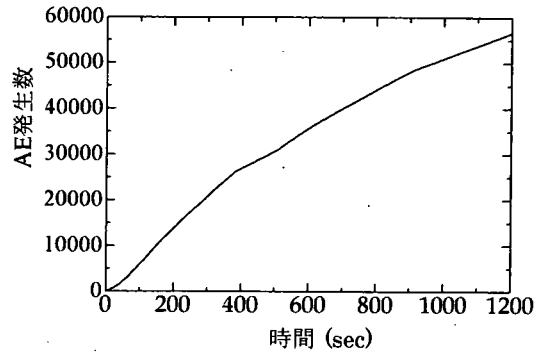


図-8 AE累積曲線

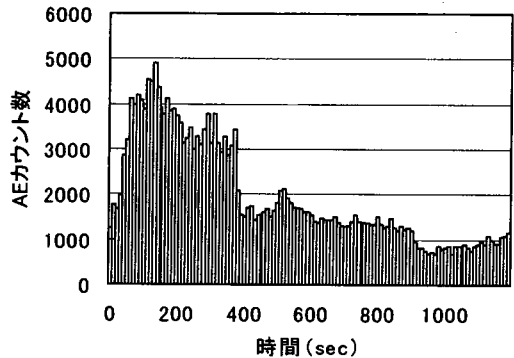


図-9 AEカウント数

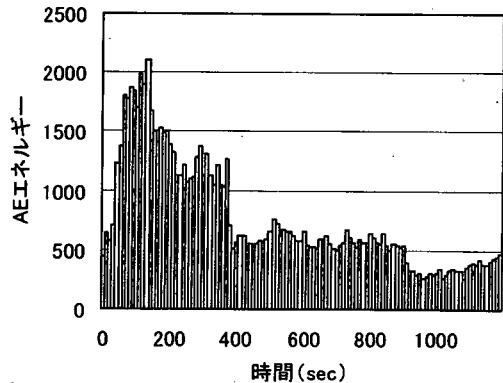


図-10 AEエネルギー

サ (AE-901S, 共振周波数1MHz) を使用し、波形計測装置 (AUTONICS製 S121 オート・デジタイザ) で波形をデジタル量として記憶させた。計測時のサンプリングタイム $\Delta t = 5 \mu\text{sec}$ 、サンプル数 $N = 2048$ とした。その結果、スペクトル分析可能な Nyquist 周波数は 10kHz、基本周波数 $\Delta f = 97.66\text{Hz}$ となった。検出波形は高速フーリエ変換 (FFT) を行い、型枠からの反射などの影響を相殺するために、幅 10cm と奥行 20cm の 2 つの経路での周波数スペクトルの比から式(4)に基づいて Q 値を求めた。

超硬練りコンクリートの硬化過程を考察するために、物性値の測定は弾性波の位相速度とQ値の測定は24時間、透水係数の測定は12時間にわたり行った。

4. 結果および考察

(1) 振動締固め試験の結果

図-5に振動締固め試験において計測された時間と間隙水圧の関係、図-6に振動载荷1000秒後の鉛直方向の応答加速度波形を示す。この実験での振動締固め後の最終沈下量は4cmであった。間隙水圧はどの深さにおいても300秒から400秒付近でほぼ一定値となることが確認された。その値は深さ5cmでは0.7kPa、深さ15cmでは0.6kPa、深さ25cmでは0.4kPaとなり、供試体上部ほど高い値を示していた。このことから、本実験では400秒以降で定常状態に達していると考えられる。振動締固め終了後に達していると考えられる。振動締固め終了後に供試体上部ほどブリージング水が出ていて、よく締固まっているのに対して、供試体下部では突き棒で突くと崩れるほどあまり締固まっていないことが確認された。このことから、供試体上部ほど振動がよく伝わり、ダイレイタンスによる間隙水圧上昇が供試体上部に卓越して起こっていることがうかがわれる。

一方、応答加速度に関しては、図-5から1000秒付近は締固め後期に相当し、比較的入力振動波形の正弦波形に近い波形となっている。図-7に計測された応答加速度の絶対値をとり、その振幅を10秒ごとに平均した場合の経時変化が示されている。定常時の加速度は供試体上部ほど高い値を示し、特に深さ100mmにおいては他の2点に比べて非常に大きいことが明らかとなった。このことは、供試体下部では減衰により振動が減少しており、振動締固めの効果が低いことを示していると考えられる。図-8、図-9、図-10に振動締固め試験において計測された時間とAE発生総数、10秒間隔でのAEカウントレート、AEエネルギーの関係が示されている。AE発生総数は400秒付近でわずかに変化が見られ、AEカウントレートとAEエネルギーは400秒付近で活性度は大幅に減少し、一定の値に落ち着くことが見られた。この挙動は図-5に示す間隙水圧や図-7に示す応答加速度の変動とよく対応しており、400秒付近で間隙水圧が非定常状態から定常状態に遷移している考えられる。このことは、本実験の超硬練りコンクリートおよび振動条件下では、その動的締固めには400秒程度という長い振動荷重が定常に至るまでには必要なことを意味している。

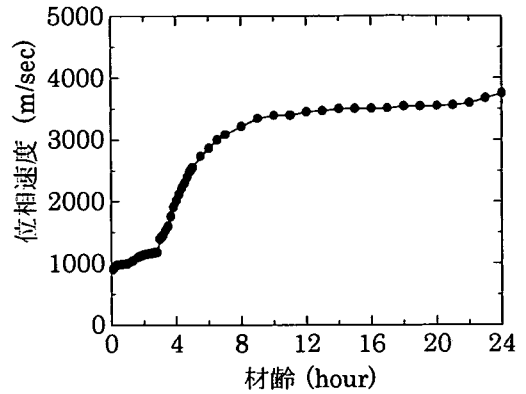


図-11 位相速度の経時変化

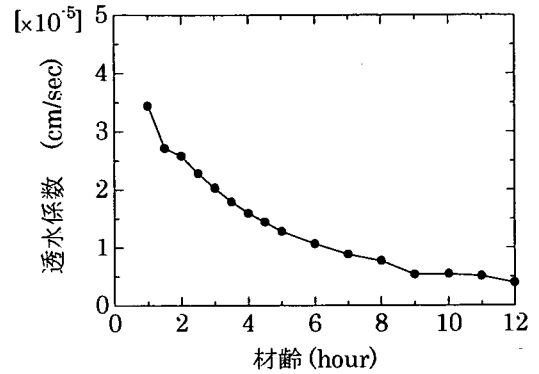


図-12 透水係数の経時変化

(2) 物性値の測定結果

初期材齢における弾性波の位相速度の経時変化を図-11に示す。弾性波の位相速度は打設後3時間まではわずかな変動しかを示さないが、3時間から10時間にかけて大きく増加し、その後ほぼ一定値に収束することが明らかとなった。これまでに、超音波の伝播速度の経時曲線の屈曲点などから初期の凝結状態を評価する試みはモルタルなどで行われているが¹²⁾、超硬練りコンクリートにおいてもその有効性が確認された。

初期材齢における透水係数、Q値の経時変化を図-12、図-13に示す。Q値は得られた波形データから図-14に示すようにフーリエスペクトルの比を求め、最小二乗近似により破線で示す勾配から式(4)により求めた。その結果、透水係数は時間の増加と共に単調に減少するが、Q値は反対にほぼ単調に増加していることが明らかとなった。また、超硬練りコンクリートは水量が少ないために粘性の影響が少なく、打設後24時間付近でQ値は100近くに達し、硬化コンクリートとほぼ同じ値となった。しかし、弾性波の位相速度に比べると、透水係数やQ値は始発段階で明確な変化が見られないことが示された。超硬練りコンクリートの振動締固め直後における

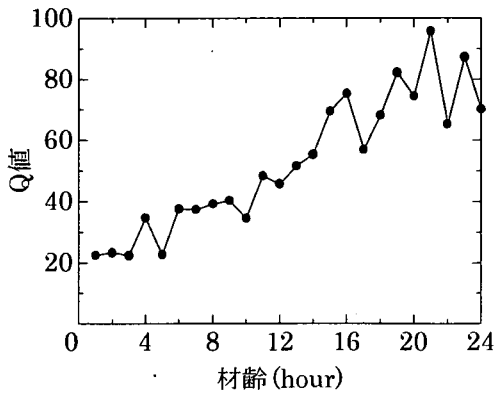


図-13 Q値の経時変化

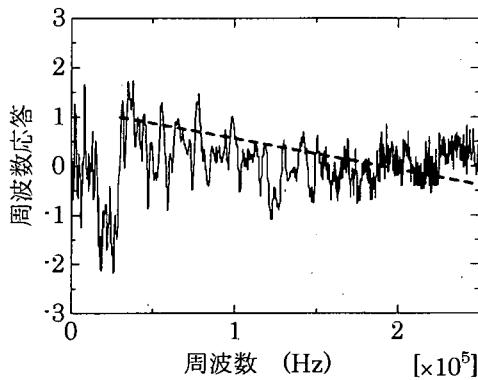


図-14 AE波動の距離減衰特性

表-3 振動締め直後における物性値

位相速度 (m/sec)	998
透水係数 (cm/sec)	2.46×10^{-3}
Q値	22.5
密度 (g/cm ³)	2.41

物性値を表-3に示す。フレッシュ状態における超硬練りコンクリート密度に関しては、密度試験 (JIS A 1202) により求めた。

(3) BEM解析の結果

BEM解析は最終沈下量を考慮し、図-15に示すコンクリートが打設された300mm×310mm、境界上節点40点、内部点90点の2次元モデルとした。これは型枠を含まず、コンクリートのみをモデル化しているため、境界上節点は振動に関しては自由境界に相当する。この場合、境界要素法でありながらモデルに内部点が必要なのは、モデル内部の間隙水圧と体積ひずみが未知量となるためである。このモデルの表面境界点に振動締め試験と同様の振動載荷がされているとした。表-3の値を用いて、振動締め過程の定常状態における中心断面の間隙水圧と応答加速度を求めた。また、既報によると透

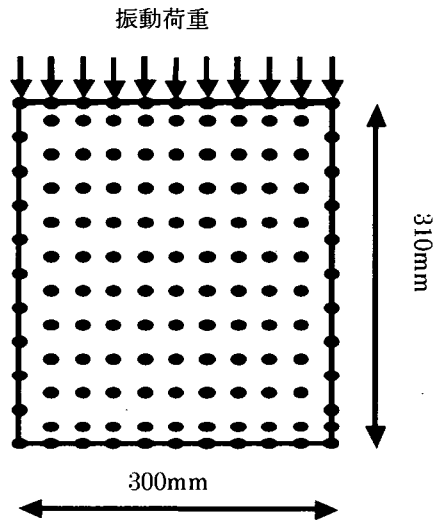


図-15 解析モデル

表-4 不均質透水係数変動値

深さ (cm)	透水係数 (cm/sec)
1.55	2.46×10^{-4}
4.65	7.78×10^{-3}
7.75	
10.85	
13.95	2.46×10^{-3}
17.05	7.78×10^{-2}
20.15	
23.25	
26.35	2.46×10^{-2}
29.45	

水係数の変化による圧力変動が非常に大きいことが知られているので¹³⁾、表-4に示す内部点の透水係数の値を高さごとに5層に変化させた不均質モデルの解析も行った。不均質モデルは、締められたコンクリートの観察結果から、供試体上部ほど透水係数が小さくなるように仮定し、モデルの中心部に表-3に示す打設直後の透水係数を用い、モデル上部はその10分の1、モデル底部ではその10倍の値とした。

BEM解析により求めた間隙水圧分布を図-16に実験値と比較して示す。BEM解析により求められた間隙水圧は均質解析の値は不均質解析の値より大きく、粘弾性解は常に弾性解よりもわずかに小さい値を示すが、その差はほとんどなく、粘性の影響があまり見られないことが認められた。不均質解析においては、解析値は実験値とほぼ同じ分布を示すことが明らかとなった。

BEM解析により求めた加速度分布を図-17の実験結果と比較して図-17に示す。解析値は一般に実験値と同様、モデル上部ほど高い値を示しており、粘弾性解析においてはモデル下部で実験値とほぼ等しい値となった。

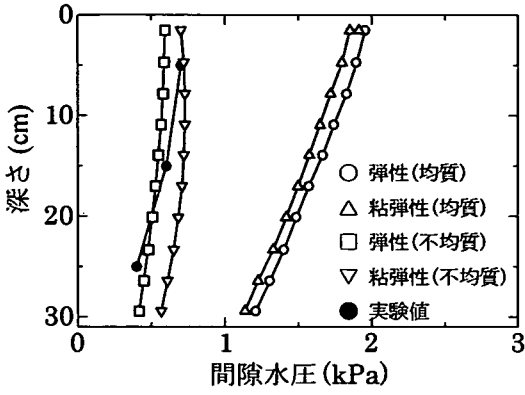


図-16 解析結果 (間隙水圧分布)

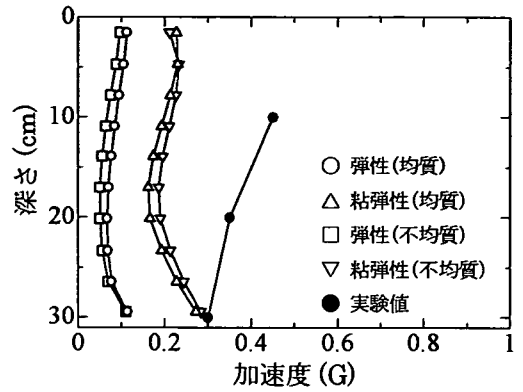
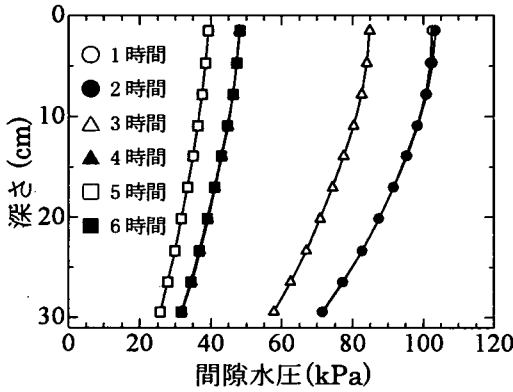
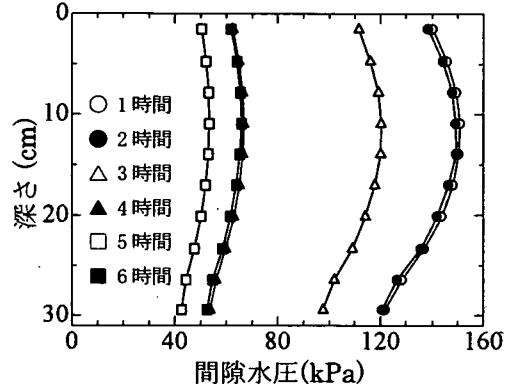


図-17 解析結果 (加速度分布)

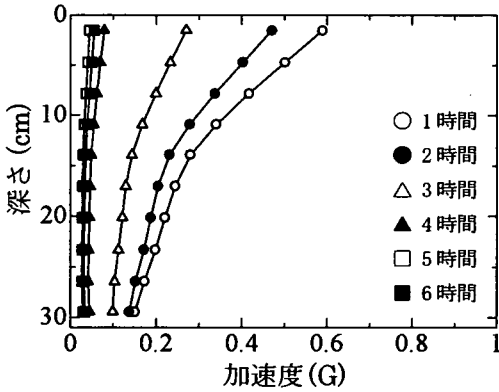


(a) 弾性

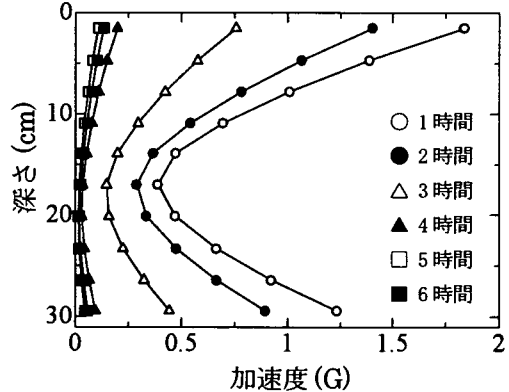


(b) 粘弾性

図-18 硬化過程への影響 (間隙水圧)



(a) 弾性



(b) 粘弾性

図-19 硬化過程への影響 (加速度)

弾性解析の値は粘弾性解析の値より小さく、実験値との一致はよくなかった。このことは、加速度には粘性の影響が認められたものと考えられる。ただし、透水係数の不均質性の影響は、式(1)から予測されるように加速度には認められなかった。

(4) コンクリートの硬化過程への影響

超硬練りコンクリートの振動締固めはその性状の変化により、コンクリートの物性が時間とともに変化することを考慮しなければならない。そこで、コンクリートの硬化過程を考察するために、超硬練りコンクリートの物性値の経時計測で得られた図-11、図-12、図-

13の値を用いて、均質モデルとしてBEM解析により間隙水圧の変化を検討した。

その結果、間隙水圧の値は図-18に示すように、弾性解、粘弾性解共に時間の経過と共に減少していることが明らかとなった。さらに、弾性解と粘弾性解では超硬練りコンクリートの物性値の変動による間隙水圧へ及ぼす影響が異なるが、3時間から4時間にかけて共に材齢の影響が大きいことが明らかとなった。さらに打設後4時間後では、弾性係数の上昇と透水係数の低下により間隙水圧分布が5時間後に再び増加していることが認められる。

図-19に示す応答加速度についても同様、材齢と共にその値は減少し、打設後4時間までの材齢の影響が分布に及ぼす影響が大きいことが明らかとなった。しかし、それ以降は分布形状は大きく変動せず、打設後5時間と6時間に至ってはほとんど値に変化が見られないことが明らかとなった。また粘弾性解においては、図-19(b)に示すように、打設後3時間までは共に供試体底部に粘性の影響が大きく現れているが、打設後4時間以降はそれがあまり見られないことが確認された。これらの分布の移動はコンクリートの硬化過程に相当し、打設後3時間以降は振動締固めの効果が減少することを示していると考えられる。ゼロスランブコンクリートでの水平打継目処理において、その引張強度から打継時間間隔を実験的に検討した研究があるが^{14), 15)}、以上の結果から物性値の時間変化を考慮した解析により超硬練りコンクリートにおける打継時間間隔を解析的に検討できる可能性も示されたと考えられる。

5. 結論

本研究では、超硬練りコンクリートの振動締固め試験により、間隙水圧と応答加速度、AE発生数について計測を行った。また、初期材齢における超硬練りコンクリートの物性値を測定してその硬化過程を考察した。そして、物性値の測定結果を用いて、固相一液相から成る二相の連成モデルとしたBEM解析により間隙水圧分布、応答加速度分布、体積ひずみ分布を比較検討した結果、以下のようなことが明らかとなった。

(1) 振動締固め試験において計測された間隙水圧は、定常状態では供試体上部になるにつれて高い値を示していることが認められた。このことは応答加速度についても同様で、これは供試体上部ほどブリージング水が見られることから、供試体上部ほど振動が伝播し、ダイレイタンスによる間隙水圧の増加は表面(深さ15cm程度)に限られることが明らかになった。

(2) 振動締固め試験において計測されたAEカウント数とAEエネルギーは、間隙水圧の非定常状態から定常状態に遷移する過程において大幅に減少し、その後ほぼ一定となることが確認された。この挙動は間隙水圧と応答加速度の変化と対応しており、AEを用いたコンクリートの締固め度評価の可能性が示された。

(3) 超硬練りコンクリートの物性値の測定により得られた値を用いて、定常振動場における固相一液相の二相モデルによるBEM解析を行った結果、締固め度の不均質性を考慮したモデルで、弾性解、粘弾性解共に間隙水圧の値は実験値に一致した。応答加速度については、供試体下部では粘弾性解と実験値が一致した。以上のことから、超硬練りコンクリートの振動締固め時の動的挙動を二相問題としてBEM解析により求めることができることが確認された。

(4) 超硬練りコンクリートの物性値の経時計測により、弾性波の位相速度は始発段階から終結段階において大きく変化するが、透水係数とQ値においては単調な変化しか見られないことが明らかとなった。これらの物性値を用いてBEM解析を行った結果、打設後3時間までは材齢の影響が大きい、4時間目以降は値は小さくなり、分布形状に大きな変化が見られないことが確認された。このことから、BEM解析により超硬練りコンクリートの可能な打継時間間隔を解析的に検討できる可能性が示されたと考えられる。

参考文献

- 1) 國府勝郎, 牛島栄: 超硬練りコンクリートの現状, コンクリート工学, Vol.36, No.8, pp.3-9, 1998.
- 2) 國府勝郎, 牛島栄, 森博嗣: 超硬練りコンクリート研究委員会報告, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.1, pp.29-38, 1998.
- 3) 松森誠志, 國府勝郎, 三栖幸彦, 上野敦, 早川健司: 転圧コンクリートの配合設計・転圧設計および施工管理への締固め性試験の応用, フレッシュコンクリートのコンシステンシー評価に関する技術の現状と課題シンポジウム論文集, コンクリート技術シリーズ37, No.2, pp.1-8, 2000.
- 4) 畑澤洋平, 坂西馨, 菅井幸仁, 遠藤孝夫: 超硬練りコンクリートのレオロジー特性の同定, フレッシュコンクリートのコンシステンシー評価に関する技術の現状と課題シンポジウム論文集, コンクリート技術シリーズ37, pp.9-12, 2000.
- 5) 黒川善幸, 谷川恭雄, 森博嗣, 渡辺貴樹: フレッシュコンクリートの振動伝播性状に関する実験的・解析的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 22, No. 2, pp. 403-408, 2000.
- 6) 上野敦, 國府勝郎: 表面振動機による締固めエネルギーとコンクリートの充填率に関する研究, コンクリート工学年

- 次論文報告集, Vol.15, No.1, pp.1185-1188, 1993.
- 7) Zienkiewicz, Q.C. and Shiomi, T.: Dynamic Behaviors of Saturated Porus Media, The generalized Biot formulation and its numerical solution, *Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech.*, Vol. 8, pp. 71-96, 1984.
 - 8) Cheng, A.H.D., Badmus, T. and Beskos, D.E.: Integral Equation for Dynamic Poroelectricity in Frequency Domain with BEM solution, *Journal of Engineering mechanics*, ASCE, Vol. 117, No. 5, pp. 1136-1157, 1990.
 - 9) 土質試験のてびき, 土木学会編, pp. 72-83, 1991.
 - 10) 丹羽義次, 大津政康: アコースティック・エミッションの特性と理論, 森北出版, pp. 57-59, 1988.
 - 11) Futterman, W.I.: Dispersive Body Wave, *J. Geophys. Res.*, Vol. 67, No. 13, pp. 5279-5290, 1962.
 - 12) 十河茂幸, 三浦律彦: コールドジョイントの防止対策とその判定方法, *セメント・コンクリート*, No. 448, pp. 8-19, 1984.
 - 13) 國居史武, 戸田和博, 大津政康: RCDコンクリートの振動締固めに関する考察, 第54回土木学会学術年次講演会講演概要集, No.5, pp. 1010-1011, 1999.
 - 14) Pacelli, W.A., Andriolo, F.H., Sarbanis, G.S.: Treatment and Performance of Construction Joints in Concrete Dams, *International Water Power & Dam Construction*, Vol.45, No.11, pp.26-31, 1993.
 - 15) Bettencourt Ribeiro, A.C., Diez-Cascon, J., Goncalves, A.F.: Roller Compacted Concrete-Tensile Strength of Horizontal Joints, *Materials and Structures*, Vol.34, pp.413-417, 2001.

(2002. 6.17 受付)

DYNAMIC COMPACTION PROCESS IN ZERO-SLUMP CONCRETE

Fumitake KUNISUE, Keiichi NOGAMI, Yoshiyuki YOKOYAMA
and Masayasu OHTSU

In dynamic compaction test of zero-slump concrete, pore pressure and acceleration are measured in order to investigate the dynamic compaction process. Transition from the unsteady state to the steady during compaction is examined by acoustic emission (AE) measurement. Such mechanical properties as permeability coefficient, phase velocity and attenuation coefficient (Q value) of concrete are measured in the early age. Based on the two-phase model, the boundary element method (BEM) is applied, taking into account the viscosity and inhomogeneous distribution of permeability coefficients. An applicability of BEM analysis is confirmed in both elastic and visco-elastic solutions.