

衝撃弾性波を用いたP Cフレッシュグラウトの 充填性評価に関する研究

富田 芳男¹・岩波 光保²・大即 信明³

¹学生員 東京工業大学大学院修士課程 理工学研究科土木工学専攻 (〒152-8552 目黒区大岡山 2-12-1)

(現 日本道路公団 名古屋管理局羽島管理事務所 〒501-6236 羽島市江吉良町字鍵田 2578-1)

²学生員 東京工業大学大学院博士後期課程 理工学研究科土木工学専攻 (〒152-8552 目黒区大岡山 2-12-1)

(現 運輸省港湾技術研究所 構造部構造強度研究室 〒238-0826 横須賀市長瀬 3-1-1)

³正会員 東京工業大学教授 工学部開発システム工学科 (〒152-8552 目黒区大岡山 2-12-1)

本研究は、衝撃弾性波の応答特性を利用してP Cフレッシュグラウトの充填評価を行う手法について検討を行ったものである。P C鋼棒をばねおよびダンパを用いてモデル化し振動解析を行うことにより、グラウトの充填程度が振動の減衰特性に影響を及ぼすことが示された。このことを踏まえて、真鍮球の振り子打撃により生じたP C鋼棒の振動測定を行った結果、特に1次の固有振動モードの減衰傾向に着目することにより、フレッシュグラウトの充填状況を評価できることが明らかとなった。さらに、実大のP C床版に対する本手法の適用性についても実証した。

Key Words: fresh grout, impact echo, modal analysis, power spectrum, damping

1. はじめに

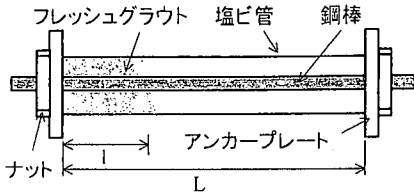
プレストレストコンクリート(以下、P Cと略記する)の長期耐久性を適切に確保するためには、供用期間中、P C鋼材が健全な状態を保つことが肝要であり、ポストテンション方式のP C構造物においては、施工時にシース管内部にグラウトを確実に充填することが、P C鋼材の性能を保証する上で極めて重要となる。しかしながら、シース管内部のグラウト充填状況を外部から目視観察することはできないため、その評価は非破壊的な手法に頼らざるを得ない。現状では、削孔をともなう局部破壊法やX線法などが有力な評価手法として採用されている¹⁾が、労力、コスト、安全面等を考慮すると必ずしも満足のいく評価法であるとは言えない。

これらの問題点は、弾性波を用いた手法を適用することで解決できるものと考えられる。従来コンクリート分野において多く採用されてきた超音波透過法により、P Cグラウトの充填を試みた例²⁾が報告されているが、透過可能な部材厚などに問題点を残している。こうした中で、近年では測定がより容易で、かつ比較的大型の部材にも適用可能な衝撃弾性波法が注目され検討が進められている³⁾。コンク

リート表面から衝撃を与えて内部のグラウト充填度を評価している例⁴⁾もあるが、P C鋼材の定着部分に衝撃を与える方が弾性波の減衰が少ないため、より大型の部材に適用が可能となる⁵⁾。しかしながら現状では、グラウト充填状況と衝撃弾性波の応答特性の対応関係があまり明確でない⁶⁾。また、これらの手法は、いずれもグラウトが硬化した状態を対象としたもの⁷⁾であり、グラウトがフレッシュ状態にある場合の評価法についてはほとんど検討されていないのが実状である。

そこで本研究においては、グラウトがフレッシュな状態におけるシース管内部の充填状況を衝撃弾性波の応答特性に着目して評価する手法について検討を行った。グラウトがフレッシュな状態での評価法が確立されれば、グラウト工事における施工管理段階で適用することができ、再注入などの対策が容易となり、実用上極めて有効であると考えられる。

検討に際しては、まず衝撃を受けるP C鋼棒の応答特性に着目することにより、その振動現象に関する理論的な考察を行った。続いて、フレッシュグラウトの充填状況とP C鋼棒の応答特性の関係を実験的に調べるため、コンクリートとシース管の代わりに透明な塩ビ管を用いて、塩ビ管内部のグラウト充



質量の絶対速度に比例する粘性抵抗力を表すダンパ c_{mi}

ばね k_i

質点 m_i

質量の相対速度に比例する粘性抵抗力を表すダンパ c_{ki}

定着部の影響を考慮

図-1 用いた供試体と解析モデルの概要

填状況を目視により確認しながら衝撃弾性波の測定を行った。さらに、グラウト充填程度の異なるPC梁供試体を用いて、コンクリートの影響を考慮した検討を行った。ここまでの検討により決定された評価指標を用いて、最終的に、実大スケールのPC床版に対して同様な測定を行うことにより、実構造物に対する本手法の適用可能性を検証した。

2. 衝撃を受けるPC鋼棒の振動解析³⁾

ここでは、衝撃を受けることにより生じるPC鋼棒の振動現象について理論的な考察を行い、以降の検討を行う上での基礎資料を得ることとした。

(1) 解析モデル

本研究では、PC鋼棒を図-1に示すように、ばねおよびダンパを用いてモデル化し、衝撃を受けることにより生じる鋼棒の振動現象を解析した。図-1において、左右から2番目の質点が大きくなっているのは、この部分にPC鋼棒の定着具が存在することを考慮したためである。また振動を減衰させるためのダンパには、質点間の相対速度に比例した減衰を生じさせるものと、各質点の絶対速度に比例した減衰を生じさせるものの2種類を用いた。前者は、振動系内部に元来存在している減衰作用によるものであり、後者は、振動系外部（この場合、フレッシュグラウト）から受ける減衰作用によるものである。このようなモデルを対象として、各質点に関する運動方程式を立て、マトリクスの形で表すと、式(1)のようになる。

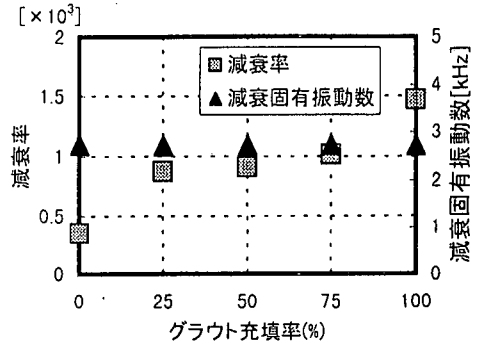


図-2 振動解析結果

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{0\} \quad (1)$$

ここに、 $[M]$: 質量マトリクス、 $[C]$: 減衰マトリクス、 $[K]$: 剛性マトリクスである。 $[M]$ および $[K]$ の要素は、鋼棒の幾何条件、密度および弾性係数から算出し、 $[C]$ については、実験により得られた代表的な振動波形との適合性を考慮して、全検討ケースに対して1通りの値を決定した。すなわち、振動系内部の減衰作用のみが存在するグラウト充填前の振動波形より、相対速度に比例する減衰係数 ($[C_k]$) を、またグラウト充填後の振動波形より、振動系内部および外部の減衰作用がいずれも働く場合の減衰係数 ($[C]$) を決定した。さらに、これらの差より、 $[C_m] (= [C] - [C_k])$ を定めた。

また、全自由度が同一の角振動数で振動すると仮定すると、各自由度の変位は式(2)のようになる。

$$\{u\} = \{\phi\}e^{i\omega t} \quad (2)$$

このような仮定を導入することにより、モード解析手法が適用可能となり、式(1)の運動方程式から、各固有振動モードの固有値 λ_i と各固有振動モード変位振幅 $\{\phi_i\}$ が算出される。ここで、 λ_i は、式(3)に示すように複素数であって、実数部分の絶対値が減衰率 σ_i 、虚数部分が減衰固有角振動数 ω_{di} である。

$$\lambda_i = -\sigma_i + \omega_{di} \cdot j \quad (j: \text{虚数単位}) \quad (3)$$

解析においては、PC鋼棒を50mm刻みで分割し振動系モデルを作成した。したがって、例えば、鋼棒長さが0.8mのケースでは、17個の質点と16個のばね、ならびに質点の相対速度に比例した減衰を生じさせる16個のダンパから成るモデルが構築される。また各質点の絶対速度に比例した減衰を生じさせるダンパの数を変化させることで、グラウト充填程度を変化させた。本研究では、シース管全長に対するグラウト充填部長さの百分率 ($= l/L \times 100$) を「グラウト充填率」として定義した。

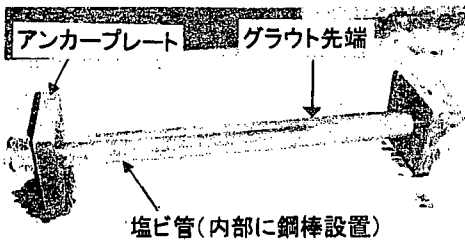


写真-1 グラウト充填状況

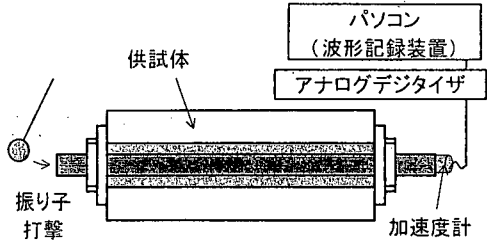


図-3 衝撃弾性波測定システム

(2) 解析結果

グラウト充填率を0, 25, 50, 75, 100 (%)と変化させた振動系モデルにおいて得られた固有1次モードの減衰率と固有振動数を図-2に示す。これによれば、グラウト充填率が変化しても固有振動数にほとんど変化は見られないが、減衰率はグラウト充填が進むにつれて増加することがわかる。このように、衝撃弾性波の応答特性を利用してP Cグラウトの充填評価を行うためには、衝撃により生じる振動波形の減衰程度に着目することが有効であることがわかる。ここで、特に1次モードの固有振動に着目したのは、測定自体の容易さや測定結果の解釈の容易さを考慮したためであり、本研究ではこれ以降においても、1次モードの固有振動に着目することとした。

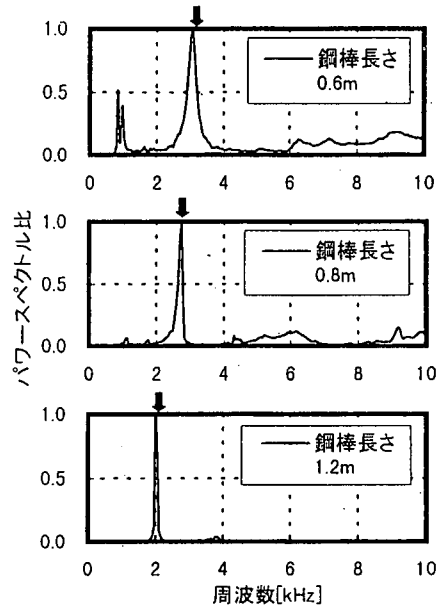


図-4 鋼棒長さが異なる場合のスペクトル分布

3. 衝撃を受けるP C鋼棒の応答特性に関する基礎的検討

(1) 実験概要

2. で、グラウトが充填されることにより振動波形の減衰程度が変化することが示されたが、このことについて実験的に確認するため、透明な塩ビ管の内部にP C鋼棒を配置した供試体を作製し、グラウト充填状況を目視により逐次確認しながら、衝撃弾性波の測定を行った。

a) 供試体概要

図-1に、用いた供試体の概要を示す。鋼棒長さは、0.6, 0.8, 1.2 (m)である。鋼棒両側に0.1mずつの定着長を設けたため、塩ビ管長さは、0.4, 0.6, 1 (m)となる。塩ビ管の内径は41mmであり、鋼棒には、直径26mmのSBPR930/1080を用いた。また、P C鋼棒および供試体の設置条件は測定結果に若干の影響を及ぼすことが懸念されるため、いずれの測定ケースにおいても、鋼棒はアンカープレートと非接触とし、供試体は厚さ10mmのゴム板上に設置した。

用いたグラウトは、ノンブリーディングタイプのセメントペーストであり、W/C=0.45とし、増粘剤(GF-1720, エヌエムビー社製)をセメント質量に対して1%混和した。写真-1に、塩ビ管内部のグラウト充填状況を示す。なお、グラウト充填長さ(図-1中の*l*)は、鋼棒上縁のグラウト充填長さと鋼棒下縁のグラウト充填長さの平均値として定義した。

b) 衝撃弾性波測定

上記供試体の鋼棒端部を直径30mm、質量118.9gの真鍮球を用いて作製した「振り子」により打撃し、P C鋼棒に衝撃を与えた。振り子長さは200mm、振り子落下高さは27mmとした。この衝撃によるP C鋼棒の応答をもう一方の端部に設置した加速度計により測定し、グラウト充填状況と衝撃弾性波の応答特性の関係を調べた。用いた測定システムを図-3に示す。なお本研究で用いたようなグラウトの粘性であれば、上記の振り子打撃を与えても、グラウト先端が動くような変化は生じないことが目視によ

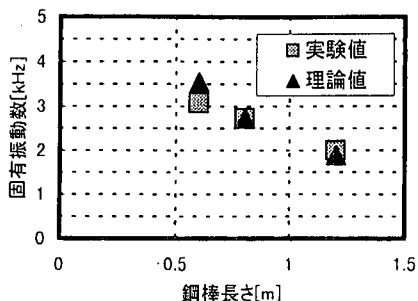


図-5 鋼棒長さとの固有振動数の関係

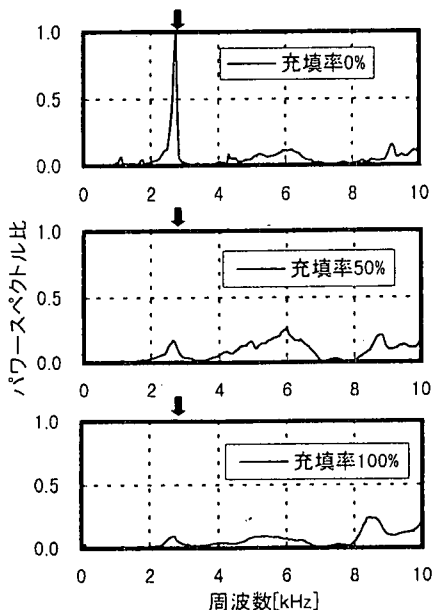


図-6 グラウト充填程度が異なる場合の
パワースペクトル

り確認されている。

このシステムにより検出された振動波形に対して高速フーリエ変換を施し、振動波形のパワースペクトルを算出した。得られたパワースペクトルのうちで、1次の固有振動モードに着目して、グラウト充填率の変化にともなうスペクトルピークの減少傾向を調べた。

(2) 実験結果および考察

a) 供試体長さがP C 鋼棒の応答特性に及ぼす影響

鋼棒長さが異なる供試体において、グラウト充填前に得られた振動波形のパワースペクトルを図-4に示す。これより、鋼棒が長くなるにつれて、ピーク周波数が低下していることがわかる。図-5に、実験で得られたピーク周波数と2.と同様の解析を行うことにより得られた1次モードの固有振動数を比較した結果を示す。これより、実験で得られたパ

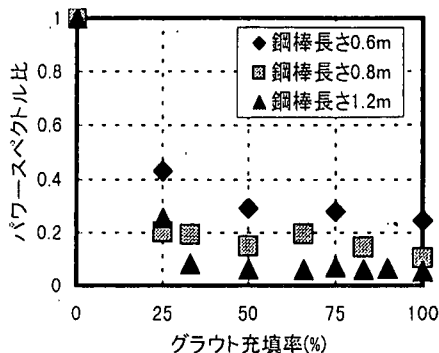


図-7 グラウト充填率とパワースペクトル比
の関係(鋼棒長さ変化シリーズ)

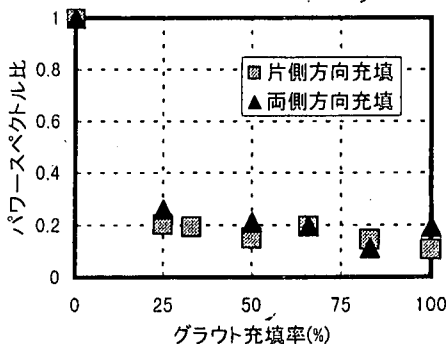


図-8 グラウト充填率とパワースペクトル比
の関係(充填方向変化シリーズ)

ワースペクトル中のピークは、P C 鋼棒の1次モードの固有振動であることがわかる。したがって、鋼棒長さが異なる場合、すなわち部材寸法が異なるような場合には、グラウト充填評価を行う上で着目すべき周波数帯域を変化させる必要があるといえる。

b) グラウトの充填程度がP C 鋼棒の応答特性に及ぼす影響

鋼棒長さが0.8mの供試体に対して、グラウト充填率を0, 50, 100(%)と変化させた場合に得られたパワースペクトルを図-6に示す。これらのグラフにおける縦軸は、充填率0%の場合のピーク値をもって規準化してある(この値を「パワースペクトル比」と呼ぶこととする)。これより、グラウトが充填されるにつれて、1次モードのピークが減少していくことがわかる。これは、2.で述べたように、グラウト充填率の増加とともにグラウトの粘性による減衰が卓越するためである。図-7に、鋼棒長さが異なる場合のパワースペクトル比とグラウト充填率の関係を示す。これより、鋼棒長さにかかわらず、グラウト充填率が増加するとパワースペクトル比が低下していることがわかる。また鋼棒が長いほど、スペクトルの減少傾向が顕著になっている。これは、

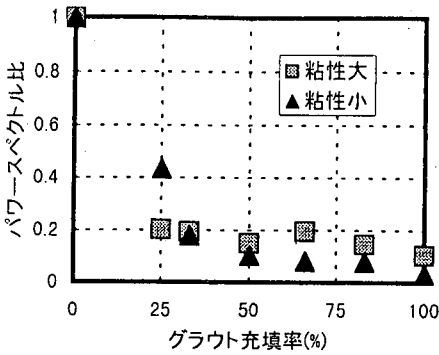


図-9 グラウト充填率とパワースペクトル比の関係 (粘性変化シリーズ)

PC鋼棒が長くなるほど、グラウトが鋼棒に接する領域が絶対的に大きくなり、鋼棒に働く粘性抵抗力が大きくなるためと考えられる。なお、パワースペクトル比の値に多少のばらつきが見られるが、これはコンクリートの代わりに軽量の塩ビ管を用いていることから、振り子打撃により与えられる入射エネルギーの誤差が振動波形に大きく反映されたことが原因と考えられる。

次に、グラウトが供試体の両側から充填される場合について検討を行った。なおここでは、グラウト充填時に良好な充填状態を保つために、塩ビ管中央上部に、直径 10mm の空気穴を設置した。図-8 に、鋼棒長さ 0.8m の供試体に対して、グラウトを片側から充填した場合と両側から充填した場合のパワースペクトル比の変化を示す。これより、充填方向によらず、グラウト充填率とパワースペクトル比の間には同一の関係が存在していることがわかる。これは、鋼棒がグラウトに接している長さが同じであれば、鋼棒が受ける粘性抵抗力も等しくなるためと考えられる。

c) グラウトの粘性が PC 鋼棒の応答特性に及ぼす影響

PC鋼棒の周囲にグラウトが存在することにより生じる粘性抵抗力の大きさは、グラウトの粘性に依存することが推測される。そこで増粘剤の量をセメント質量に対して 0.5%としたケースについても検討を行い、上記 b) の増粘剤量 1%の場合の結果と比較した。土木学会規準 (JSCE-F531) に準じて測定した J14 漏斗流下時間は、増粘剤量が 0.5%、1%の場合、それぞれ 4.0 秒、6.2 秒であった。両者のグラウト充填率とパワースペクトル比の関係を図-9 に示す。このように、グラウト充填率が小さい段階では粘性の違いによるパワースペクトル比の違いが見られるものの、グラウト充填が進むと粘性の影響は相対的に小さくなる。これは、グラウトが鋼棒に

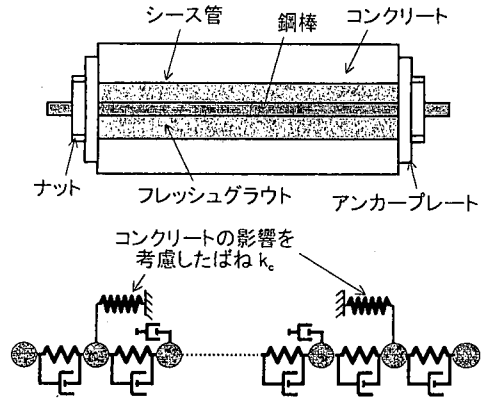


図-10 供試体と解析モデルの概要 (PC梁供試体)

接する面積がある値を超えると、グラウトの粘性によらずグラウトの接触面積がパワースペクトル比の支配的要因になるためと考えられる。

4. PC梁供試体を用いたグラウト充填評価に関する検討

3. の検討結果より、フレッシュグラウト充填評価には、1 次の固有振動モードのパワースペクトル比の減少傾向に着目すればよいことが示された。ここでは、ポストテンション方式の PC 梁供試体に対して 3. と同様な測定を行い、より実際の PC 部材に近い状態において、グラウトの充填程度が衝撃弾性波の応答特性に及ぼす影響について検討を行った。

さらに、異なる大きさの真鍮球を用いて振り子打撃を行い、衝撃の与え方が PC 鋼棒の応答特性に及ぼす影響についても検討を行った。

(1) 実験概要

用いた供試体の概要を図-10 に示す。コンクリート部分の寸法は、 $200 \times 200 \times 600$ (mm)であり、鋼棒の長さおよび直径は、0.8m、26mm である。両端の定着長は 0.1m ずつとした。導入緊張力は約 20kN である。またシース管の内径は 38mm である。供試体はゴム板上に設置した。用いたコンクリートの配合は、 $W=173\text{kg/m}^3$ 、 $W/C=0.47$ 、 $s/a=0.44$ である。この供試体に対して、3. と同様に、直径 30mm の真鍮球を用いた実験を行い、衝撃により生じる PC 鋼棒の応答特性を測定した。

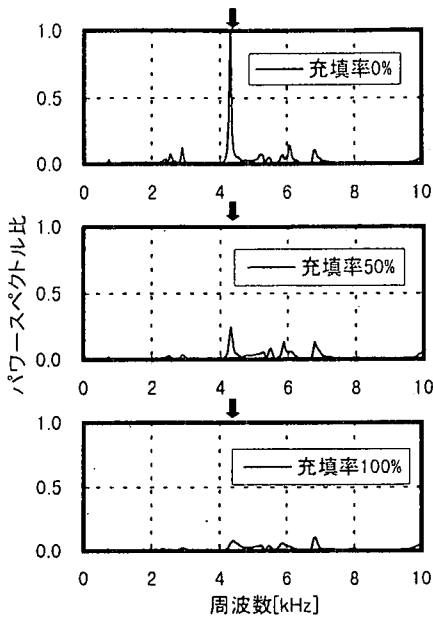


図-1 1 グラウト充填程度が異なる場合の
パワースペクトル (PC梁供試体)

(2) 解析概要

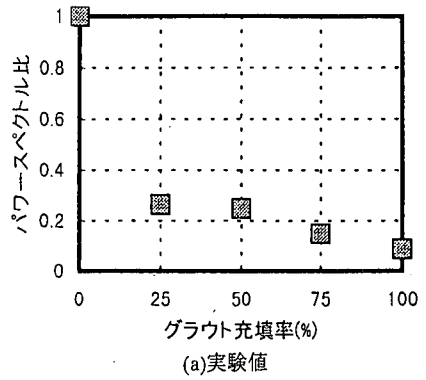
PC梁供試体の場合についても、シース管内部のPC鋼棒の振動解析を行うため、図-1 0に示すようなモデルを設定して、2.の場合と同様にモード解析を行った。この際、コンクリートの存在を考慮するため、左右から2番目の質点に、固定端と連結させたばねを設置した。

(3) 結果および考察

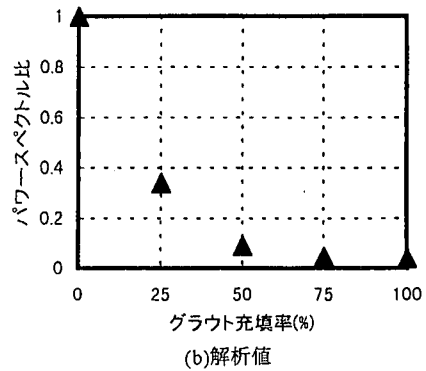
a) グラウトの充填程度がPC鋼棒の応答特性に及ぼす影響

図-1 1に、グラウト充填率が0, 50, 100(%)の場合に得られたパワースペクトル比を示す。これによれば、周波数4.2kHz付近のピークが、グラウトの充填とともに減少していることがわかる。これは、3.の塩ビ管を用いた実験結果と同様である。1次モードの周波数が、3.の場合よりも大きくなっているのは、コンクリートの存在によるものであり、解析により得られた固有振動数とほぼ一致していた。図-1 2に、グラウト充填率とパワースペクトル比の関係を解析値とあわせて示す。このように、PC梁供試体においても、グラウト充填率の増加とともにパワースペクトル比が減少する傾向が認められ、解析値も同様の傾向を示した。

以上より、実際のコンクリート供試体を用いた場合においても、グラウトが充填されるとパワースペクトルにおける1次の固有振動モードの減衰特性に



(a)実験値



(b)解析値

図-1 2 グラウト充填率とパワースペクトル比
の関係 (PC梁供試体)

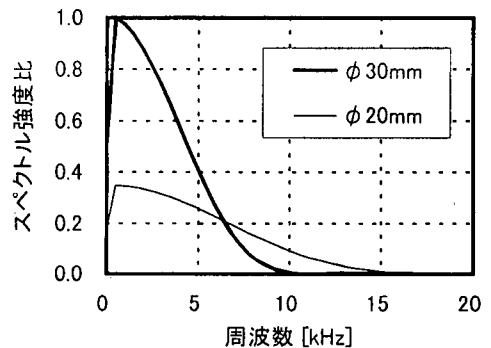


図-1 3 打撃球の大きさが入射波の周波数特性
に及ぼす影響

変化が生じることが示された。

b) 衝撃の与え方がPC鋼棒の応答特性に及ぼす影響

衝撃の入力関数は、正弦波の半波長で近似できることが知られているので⁹⁾、打撃球と鋼棒の接触時間を変えることにより、入射波の周波数特性を変化させることが可能である。打撃球と鋼棒の接触時間は打撃球の径に大きく依存するため¹⁰⁾、ここでは

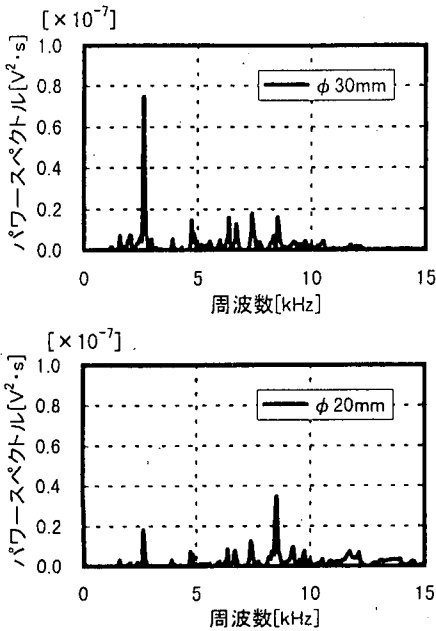


図-14 入射波の周波数特性が異なる場合の
パワースペクトル

直径 30mm, 20mm の 2 つの真鍮球による振り子による打撃を行った。この際、振り子の落下高さをそれぞれ、27mm, 90mm とすることで、入射エネルギーを等しくした。参考文献7)によると、真鍮球と鋼棒の接触時間は、直径が 30mm の場合、135.1 μ m、直径が 20mm の場合、79.8 μ m となる。この接触時間の 1/2 を半周期とする半正弦波を衝撃力を入力関数と仮定し、その周波数分布を求めると、図-13 のようになる。これより、球の直径が大きく接触時間が長い方が、入射波の周波数が低くなる傾向があることがわかる。

図-14に、大きさの異なる真鍮球を用いた場合に得られたパワースペクトル分布を示す。これらは、鋼棒長さ 0.8m、グラウト充填率 0% の場合の結果である。これより、直径の大きい真鍮球を用いた場合の方がより低い周波数領域の成分が卓越していることがわかる。このことは、図-13のところで述べた結果と一致している。

以上より、評価に用いる周波数帯域によって、球の直径などの衝撃の与え方に関する条件を適切に選定することが望ましいと考えられるが、この点についてはさらに詳細な検討が必要である。

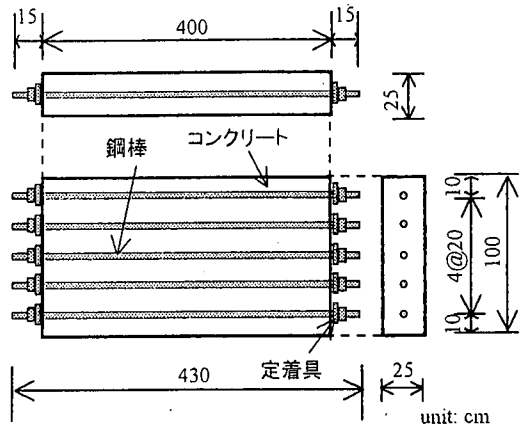


図-15 PC床版概要

5. 実大スケールのPC床版に対する本手法の適用可能性に関する検討

これまでの検討結果より、グラウト充填評価には、1 次の固有振動モードに対するパワースペクトルの減少傾向に着目すればよいことが示された。ここでは、実大スケールのPC床版を対象として、同様にフレッシュグラウト充填評価を試みた。このようなPC床版を用いた検討を行うことにより、部材の寸法・形状だけでなく、PC鋼材以外の鉄筋の存在や他のシース管の存在が本評価手法に及ぼす影響の有無を調べることができる。

(1) 実験概要

用いた供試体の概要を図-15に示す。コンクリート部分の寸法は、4000 \times 1000 \times 250 (mm)であり、鋼棒には直径 26mm のSBPR930/1180を用いた。鋼棒長さは 4.3m とし、鋼棒両端に 0.15m ずつの定着長を設けた。なお鋼棒は 200mm 間隔で 5 本配置した。シース管の内径はPC梁モデルと同じく 38mm とした。グラウトの注入口、排気口および排出口の設置は、シース管にグラウトホースを接続することにより行った。注入口および排出口はそれぞれコンクリート端部から 100mm の位置に、排気口は 1m 間隔で、注入側からそれぞれ 1, 2, 3 (m) の部分の 3ヶ所に設置した。また導入緊張力は、約 52kN とした。用いたコンクリートの配合は、 $W=160\text{kg/m}^3$ 、 $W/C=0.37$ 、 $s/a=0.41$ である。なお床版は、両端から 0.5m の地点で幅 100mm の木片を用いて支持した。

グラウト充填中には、グラウトの排気口および排出口の目視観察を行い、フレッシュグラウトの充填

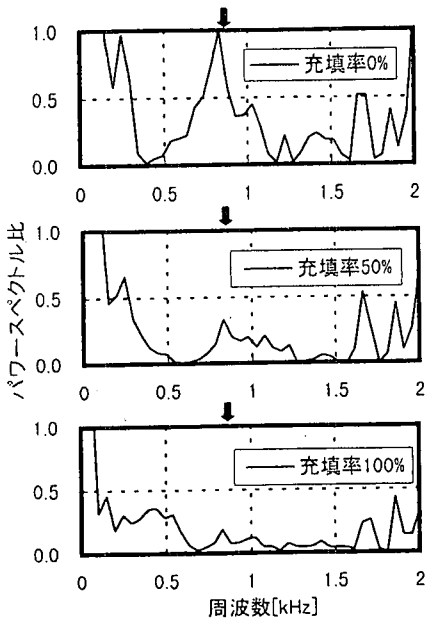


図-1 6 グラウト充填程度が異なる場合のパワースペクトル (PC床版)

状況を確認しながら、3. と同様な測定を行うことにより、PC鋼棒の応答特性を調べた。なお、与える衝撃は、振り子打撃では入射されるエネルギーが小さすぎたため、ハンマー打撃とした。用いたハンマーは、先端形状が球形で長さ 30cm の鋼製ハンマーである。打撃により鋼棒に与えられるエネルギーを等しくするため、打撃点近傍に設置したAEセンサによる受振波のエネルギー値が等しくなるように打撃力の大きさを調節した。

(2) 解析概要

上記供試体におけるPC鋼棒の固有振動数を求めるため、4. と同様にモード解析を行った。この際、PC梁供試体との端部長さの違いを考慮して、左右から3番目の質点に、コンクリートの存在を考慮するための固定端と連結させたバネを設置した。

(3) 結果および考察

図-1 6に、グラウト充填率が0, 50, 100(%)の場合に得られたパワースペクトル比をそれぞれ示す。これによれば、周波数 0.8kHz 付近のピークが、グラウトの充填とともに減少していくことがわかる。これは、前章の塩び管を用いた実験結果と同様である。1次モードの周波数が、4. の場合よりも小さくなったのは、部材が長くなったためであり、解析により得られた固有振動数(0.613kHz)とほぼ一致

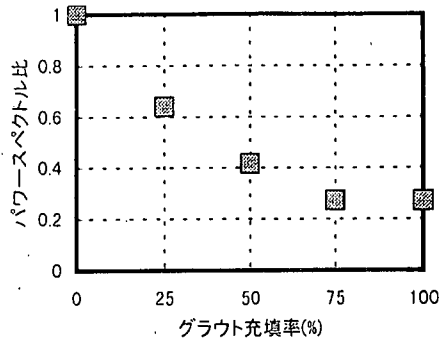


図-1 7 グラウト充填率とパワースペクトル比の関係 (PC床版)

していた。図-1 7に、グラウト充填率とパワースペクトル比の関係を示す。このように、実大スケールのPC床版においても、グラウト充填率の増加とともにパワースペクトル比が減少する傾向が認められた。

なおここで示した結果は、5本ある鋼棒のうち最も端にある鋼棒の測定を行った時のものであるが、他の鋼棒に対する測定結果も同様のものであった。

以上より、パワースペクトルにおける1次の固有振動モードの減衰に着目したグラウト充填評価手法が、実大スケールのPC床版に対しても適用可能であることが確認された。

6. まとめ

本研究においては、衝撃弾性波の応答特性を利用したPCフレッシュグラウトの充填評価手法について検討を行った。その結果、フレッシュグラウトの充填評価においては、PC鋼棒の振動波形のパワースペクトルにおける1次の固有振動モードの減衰程度に着目することが有効であることがわかった。またこのことは、PC鋼棒をばねおよびダンパを用いてモデル化した振動系に対するモード解析によっても確認できた。

さらに本手法は、グラウト充填長さが4mにもおよび実大スケールのPC床版に対しても適用が可能であった。

本研究で提案するグラウト充填評価手法は、緊張材としてPC鋼棒が直線的に配置されている場合には有効である。例えば、桁の横締め時や工場製品等が適用可能な事例として挙げることができる。今後は、PC鋼棒に導入されている緊張力、シース管の

内径など、諸因子が評価結果に及ぼす影響についてさらに検討を進め、より普遍的な評価手法として発展させていく必要がある。

謝辞：実大スケールのPC床版供試体の作製にあたっては、住友建設(株)技術研究所に御協力いただきました。また実験の遂行に際して、東京工業大学助手 宮里心一氏、ならびに同学部生 玉置郁氏に御尽力いただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 藤井學, 宮川豊章: PCグラウト充填状況の非破壊探査法, 土木学会論文集, No.402/V-10, pp.15-26, 1989.
- 2) 坂田康徳, 大津政康: 超音波スペクトロスコーピー法によるポストテンションPC桁のグラウト充填度評価, コンクリートの非破壊試験法に関するシンポジウム論文集, pp.87-92, 1991.
- 3) 望月秀次, 本間淳史, 上東 泰: 非破壊検査を用いたPCグラウトの点検と補修, プレストレストコンクリート, Vol.37, No.6, pp.67-74, 1995.
- 4) 渡辺健, 大津政康, 友田祐一: インパクトエコー法によるPCグラウト充填度評価に関する考察, 材料, Vol.48, No.8, pp.870-875, 1999.
- 5) 望月秀次, 本間淳史, 上東 泰: PCグラウトの施工技術の現状と非破壊検査による点検, コンクリート工学, Vol.34, No.6, pp.4-13, 1996.
- 6) 黒野幸弘, 山田和夫, 中井裕司: 衝撃弾性波法を適用したPC床版のグラウト充填性評価に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.1, pp.1175-1180, 1995.
- 7) 中野将士, 尼崎省二: 衝撃弾性波法によるPCグラウトの充填評価, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.1, pp.287-292, 1998.
- 8) 長松昭男: モード解析入門, コロナ社, 1994.
- 9) 白鳥雅也, 桧貝 勇, 岡村雄樹: 軽い衝撃を受けるコンクリート部材の応答解析, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.14, pp.679-684, 1992.
- 10) Carino, N.J., Sansalone, M., Hsu, N.N.: A Point Source-Point Receiver, Pulse-Echo Technique for Flaw Detection in Concrete, *ACI Journal*, pp.199-208, 1986.

(1999.5.25 受付)

NONDESTRUCTIVE EVALUATION OF FRESH GROUTING PERFORMANCE IN PRESTRESSED CONCRETE MEMBERS BY IMPACT ECHO

Yoshio TOMITA, Mitsuyasu IWANAMI and Nobuaki OTSUKI

In this study, nondestructive evaluation method for grouting performance in prestressed concrete (PC) members was investigated using an impact echo technique. PC bar was modeled as one-dimensional vibration system consisting of springs and dampers. Through the modal analysis, it was found that the grouting condition of fresh cement-paste was related to the damping characteristics of the system. From the experimental results, it was shown that the peak value in the frequency spectrum of the vibration of the PC bar decreased due to filled cement-paste in the sheath of PC beam. It was also confirmed that this method was applicable to practical use of full-sized PC slabs.