

PC 部材における弾性波伝播挙動に関する解析的検討

岐阜大学 学生会員 川嶋雅道 應江虹
岐阜大学 正会員 鎌田敏郎 六郷恵哲

1. はじめに

弾性波伝播速度は、衝撃弾性波法による PC グラウト充填評価における評価指標として、これまでに主に供試体および実構造物での実験によって、その適用性が確認されている¹⁾。ただし、これまでの検討では、現象論的な解釈レベルでとどまっており、PC 部材における弾性波伝播挙動に関しては詳細な検討を行っていない。

そこで、本研究では、3次元 FEM 解析を用いて、グラウト充填の有無ならびに構成部材の物性値を変化させることにより、弾性波伝播速度が変化するメカニズムや値の変動傾向を検討した。

2. 解析概要

2.1 解析モデル

解析には、汎用有限要素法解析プログラムを使用し、動的応答解析を行った。モデルは、既往の実験結果と比較するため、文献における PC スラブ供試体（PC タンク側面を想定したものである）の寸法を踏まえて、図-1 に示すように 2,000×250×6,000[mm]のコンクリートスラブの中央に、PC 鋼棒、グラウト、シース（PC 鋼棒直径 23[mm]、シース内径 35[mm]、シース厚さ 1.6[mm]）および定着プレートを配置することにより作成した。なお、モデルではその対照性を考慮して、鋼棒断面の中心軸を対象軸とした 1/4 モデルを用いた。要素には 8 節点ソリッド要素を使用とした。また、本解析で用いたすべての構成材料は弾性体として扱い、材料間の接合面は、図-2 に示す波形により PC 鋼棒中心の節点に図-1 に示す矢印の方向に衝撃荷重を与えた。荷重の継続時間および最大荷重は、それぞれ既往の研究^{2),3)}を参考に決めたものである。

出力結果より、入力とは反対側の定着プレート上の節点（鋼棒中心から 35[mm]離れた点：実験における受信センサの貼付位置を想定）における変位の到着時間を、この節点と荷重入力節点との間の距離で除すこのことによって見かけの伝播速度を求めた（以後、伝播速度とする）。

2.2 解析ケース

解析では、構成材料の物性値の影響に関する検討を行う目的で、材料の弾性係数に着目し、PC 鋼棒、コンクリート

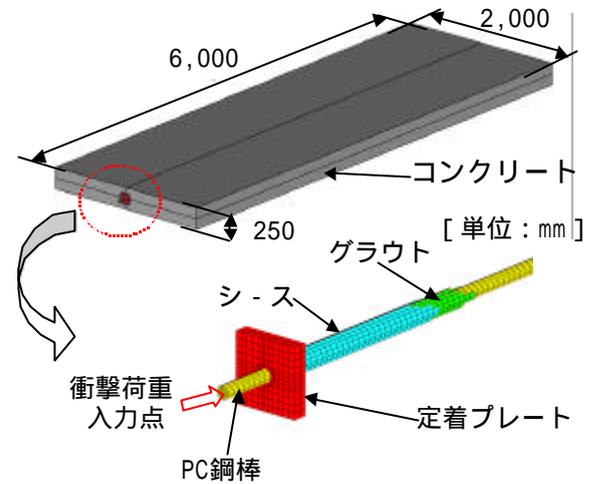


図-1 解析モデル

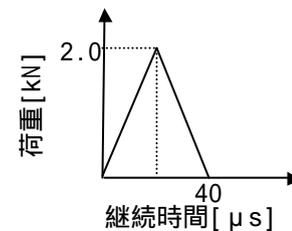


図-2 入力波形

表-1 弾性係数の影響に関する検討ケース

構成材料	弾性係数 [GPa]		
(検討1) PC鋼棒	180	203	220
(検討2) コンクリート	35	40	45
(検討3) グラウト	18	23	28

およびグラウトの弾性係数を表-1 に示すものとして行った。また、伝播速度の変化する要因分析を主眼としているため、グラウト未充填（シース内グラウト体積0%）と充填（シース内グラウト体積100%）の2種類とした。

3. 構成材料の弾性係数と伝播速度の関係

解析結果より弾性波伝播挙動をみると、グラウト未充填の場合では、鋼棒に入力された弾性波がそのまま PC 鋼棒を通る成分と定着プレートを介してコンクリートに伝わりコンクリート部を伝播する成分とがそれぞれ存在した。そのため、弾性波伝播速度の速い PC 鋼棒中を伝播してきた波が入力点とは反対側の定着プレート上に変位を発生させていると考えられる。一方、グラウト充填の場合では、鋼棒に

キーワード：衝撃弾性波法，PC グラウト充填評価，FEM 解析，伝播速度

連絡先：〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1 岐阜大学工学部社会基盤工学科 TEL/FAX：058-293-2470

入力された弾性波が定着プレート，グラウトおよびシースを介してコンクリート部へ伝わり，一体化した波として伝播する。これによって，PC鋼棒中を伝播する波は弾性波伝播速度の遅いコンクリートとともに変形しながら伝播すると考えられる。

図-3に，構成材料の弾性係数と伝播速度の関係をそれぞれ示す。グラウト充填の場合は，伝播速度はPC鋼棒の弾性係数およびグラウトの弾性係数にほとんど影響されずほぼ一定であるが，コンクリートの弾性係数が増大するにつれて，伝播速度は徐々に大きくなるのがわかる。一方，グラウト未充填では，伝播速度はコンクリートの弾性係数に影響されずほぼ一定であるが，PC鋼棒の弾性係数の増加とともに，徐々に大きくなっている。

周知のように，均一弾性体中における縦波伝播速度 C_L ，および，一様な弾性棒を伝わる縦波（棒波）の伝播速度 C は，式(1),(2)で表される。ここで， E は弾性係数， ρ は密度， ν はポアソン比である。

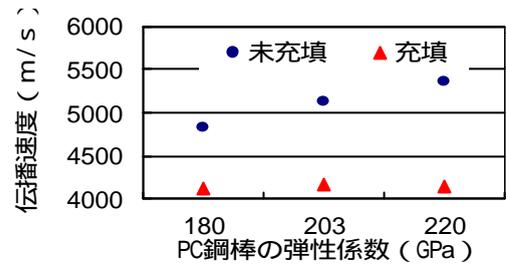
$$C_L = \sqrt{\frac{E}{\rho} \times \frac{1-\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (1)$$

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2)$$

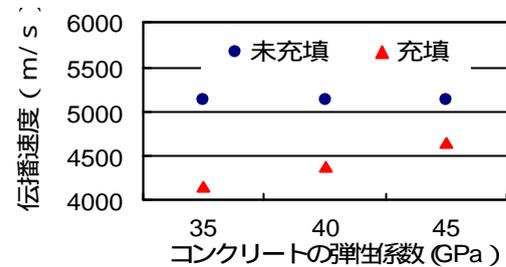
そこで，解析に用いた物性値をそれぞれ以上の計算式に代入し，一様な材料における伝播速度の理論値を求めて解析結果との比較を行い，材料の弾性係数の影響に関して検討した。その結果，解析に用いたコンクリートの材料物性値を式(1)に代入して得られた縦波伝播速度の理論値 C_L は，それぞれ4110，4440，4660[m/s]となり，グラウト充填の場合の解析値（図-3（b）参照）とほぼ一致している。また，解析に用いたPC鋼棒の材料定数を式(2)に代入して得られた一様な弾性棒の棒波速度はそれぞれ4770，5070，5280[m/s]となり，グラウト未充填の場合の解析値（図-3（a）参照）に近いことがわかった。

以上のことより，グラウトが充填の場合は，入力された弾性波はコンクリート中にも一体的に伝わり，モデルにおけるコンクリート部分の占める割合が圧倒的に大きいいため，伝播速度はコンクリートの縦波弾性波速度の理論値に近くものと考えられる。一方，グラウト未充填の場合では，鋼棒の長さが径に対して十分に長いことから，PC鋼棒を伝播する波が棒波となって伝わることによって，解析による伝播速度がPC鋼棒の棒波速度に近づいたものと考えられる。

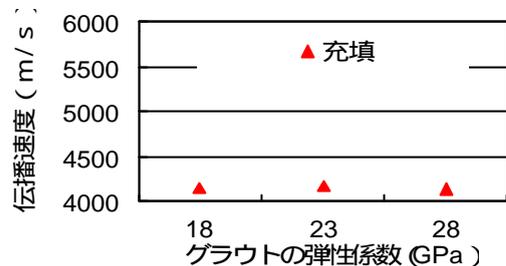
したがって，本手法を用いてPCグラウト充填評価を行う場合，伝播速度がコンクリートの縦波速度の理論値付近であれば，グラウト完全充填と判断できる可能性がある。ま



(a) PC鋼棒の弾性係数と伝播速度の関係



(b) コンクリートの弾性係数と伝播速度の関係



(c) グラウトの弾性係数と伝播速度の関係

図-3 材料の弾性係数と伝播速度の関係

た，伝播速度がPC鋼棒の棒波速度に近い値を示していれば，グラウトの未充填箇所が存在すると判断できるものと考えられる。

4. まとめ

伝播速度は，グラウト未充填の場合において，その値がPC鋼棒の棒波速度に近く，グラウト充填の場合はコンクリートの縦波速度に近いことがわかった。これらの知見を用いれば，グラウト充填評価のための伝播速度の基準値を決定することが可能となることを解析的に示した。

参考文献

- 1) 国枝泰祐，鎌田敏郎，浅野雅則，六郷恵哲：PCグラウト充填評価における弾性波パラメータの特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.1，pp.1589-1594，2003
- 2) Carino N.J.， Sansalone M.J. and Hsu N.N.： A Point Source-Point Receiver， Pulse-Echo Technique for Flaw Detection in Concrete， ACI Structural Journal， Vol.83， No.2， pp.199-208， 1986
- 3) 白鳥雅也， 梶貝勇， 岡村雄樹： 軽い衝撃荷重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， No.1， pp.679-684， 1992