

杭打ち作業に伴う振動が若材齢のセメント系固化処理土に与える影響分析

東亜建設工業(株) 正会員 御手洗義夫 三枝 弘幸 ○西田 浩太
港湾空港技術研究所(前・関東地方整備局) 正会員 高橋 英紀
関東地方整備局 小島 晃 西川 丈博

1. はじめに：建設現場では、土工や基礎工など大型機械によって振動が発生する作業が数多く存在し¹⁾、これらが近接構造物に及ぼす影響を正確に評価することは非常に重要である。一方、セメント系固化処理土(以下、固化処理土)は軟弱な土砂にセメントを添加することで高強度化させるものであるが、セメント添加直後は低強度状態であるにもかかわらず、近傍で振動作業が平行して行われている事例が多く見られ、固化処理土内に何らかの影響を与えている可能性も懸念されている。そこで本報では、振動発生作業で代表的な杭打ちをターゲットとし、それにより生じる振動波の伝播によって、近傍に打設した固化処理土に与える影響について分析したので報告する。

2. 振動波が固化処理土に与える影響：作業に伴って発生する振動波が固化処理土に及ぼす影響として想定される状況は、図-1 に示す 3 ケースである。すなわち、①低周期の振動波が伝播する際にひずみを生じさせ、このひずみによって局所的な破壊が生じる可能性、②未固化の固化処理土で、高周期の振動波が伝播することでブリージングを生じさせる可能性、③養生初期の低強度状態において、高周期の振動波によって全域にわたり微細クラックが生じる可能性である。特に本報の中では、クラックが発生することで固化処理土の最重要機能である高強度性を著しく損なわす①と③の現象に焦点を当て、分析を実施することとした。

3. 杭打ち作業によって発生する振動波の特性：既製杭の打込みでは、パイプロハンマの振動貫入によって支持層到達後、油圧ハンマの打撃により打止め管理が行われるのが一般的である。パイプロハンマによる振動周波数 f は用いるハンマの仕様・規格により異なるが、比較的低周波帯域の 20～60Hz 程度が標準的である²⁾。一方、油圧ハンマに代表される打撃式貫入は対象地盤によって周波数帯域は異なるが、東京港の上部有楽町層(粘性土と一部砂層)のディーゼルハンマ計測事例³⁾に見られるように、比較的高周波帯域が卓越するのが特徴である。

4. 検討条件：検討に用いた諸条件を表-1 に、分析フローを図-2 にそれぞれ示す。なお、上記 3 のとおり、パイプロハンマで発生する振動波の f は 20～60Hz を想定し、油圧ハンマの f は東京湾での既往測定事例から 300Hz とした。また、固化処理土内を伝播する振動波の特性は、固化処理土のせん断波速度 V_s とした。なお V_s は、粘性土や泥岩などの幅広い材料を用いた一軸圧縮強さ q_u との相関関係 ($21.8 \cdot q_u^{0.417}$) により算出している⁴⁾。固化処理土の設計一軸圧縮強さ q_u は 200kN/m² を想定しており、検討対象の q_u は若材齢として 20～100kN/m² の範囲で設定した。また、

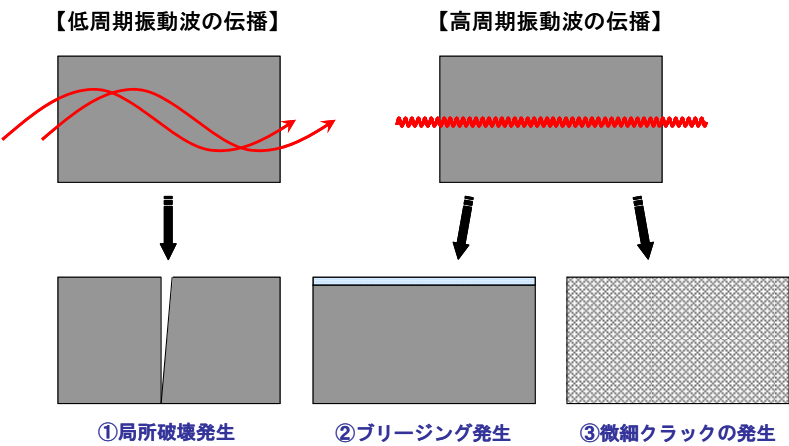


図-1 振動波伝播により予想される固化処理土の現象

表-1 検討条件一覧

項 目			パイプロハンマ	油圧ハンマ
固化処理土の特性	一軸圧縮強さ q_u	kN/m ²	20～100	
	せん断波速度 V_s	m/s	$21.8 \cdot q_u^{0.417}$	
	弾性係数 E	kN/m ²	$260q_u$	
振動波の特性	周波数 f	Hz	20～60	300
	周期 T	s	$1/f$	
	波長 λ	m	v_s/f	
	振動加速度レベル L_{vr}	dB	式-1	
	加速度実効値 a	m/s ²	式-2	
	振幅 A	m	式-3	
	1波で発生するひずみ ε	%	式-4	
固化処理土への影響評価	1波で発生する応力 σ	kN/m ²	$E \cdot \varepsilon$	

キーワード:セメント系固化処理土, 振動, 若材齢, クラック
連絡先 〒230-0035 横浜市鶴見区安善町 1 丁目 3 東亜建設工業 技術研究開発センター TEL045-503-3741

固化処理土の弾性係数 E は、過去に測定された気泡混合固化処理土 (SGM) を例とした数多くの計測事例から、 $260 \cdot q_u$ を採用した⁵⁾。

杭打設に伴って発生する振動波の卓越周波数 f を設定すれば、固化処理土内に伝播する際の波長 λ は v_s/f にて算出できる。また、振動波が固化処理土まで伝播する際の減衰特性は、幾何減衰量と内部減衰量を含む式-1 を用いて考慮した¹⁾。なお当式において、 L_{vr} と L_{vro} はそれぞれ予測点と基準点における振動加速度レベル、 r と r_o は振動発生源から予測点および基準点までの距離、 α は内部減衰係数、 n は幾何減衰係数を意味しており、 α は軟弱シルトとして 0.04 を¹⁾、 n は複合波として 0.75 を⁶⁾ それぞれ用いた。また、加速度実効値 a は感覚補正係数を無視した L_{vr} とのフラットな関係が、低周波帯域から高周波帯域まで一貫して成り立つと仮定して式-2 より求めた³⁾。

伝播する振動波を正弦波と仮定すると、 a とひずみ ε は振幅 A を介して式-3 および式-4 により与えられる。振動波により固化処理土内に発生する応力 σ は $E \cdot \varepsilon$ により評価することができ、当値の大小によって内部にクラックが発生するかの影響分析を実施することができることとなる。

$$L_{vr} = L_{vro} - 20 \log_{10} \left(\frac{r}{r_o} \right)^n - 8.68 \alpha (r - r_o) \quad (\text{式-1})$$

$$L_{vr} = 20 \log_{10} \frac{a}{10^{-5}} \quad (\text{式-2}) \quad a = A \cdot \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \quad (\text{式-3})$$

$$\varepsilon = A \cdot \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) \times 100 \quad (\text{式-4})$$

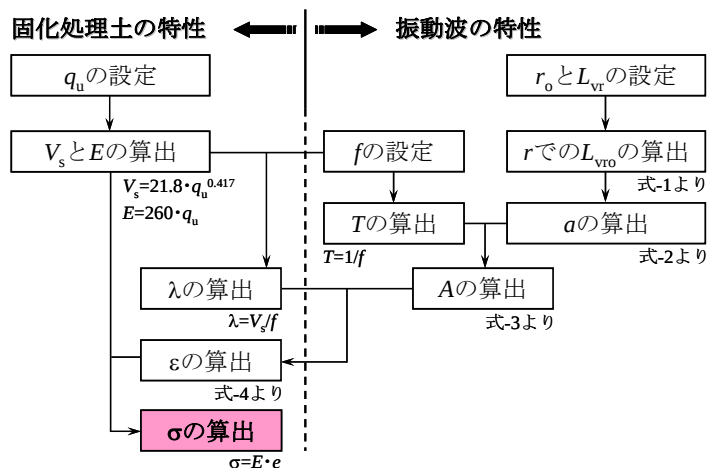


図-2 分析フロー

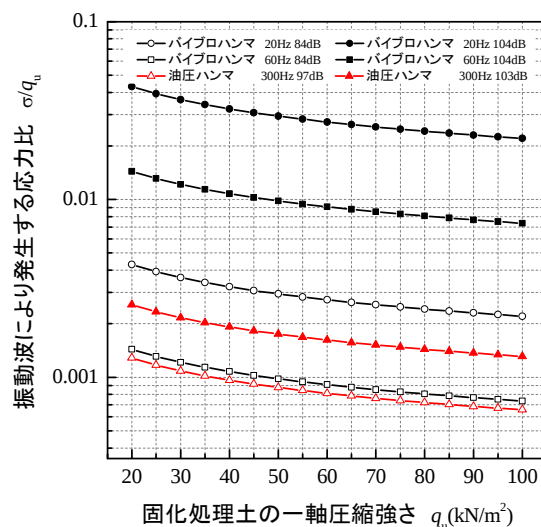


図-3 各ハンマ振動波の影響分析結果

5. 検討結果： 固化処理土施工位置から杭打設による振動発生源をごく近傍と仮定して $r=1.5\text{m}$ と設定し、上記手法にてパイプロハンマと油圧ハンマの振動の影響分析を試みた。なお、式-1 中の r_o と L_{vro} は参考文献-2 の諸値を引用した。すなわち r_o と L_{vro} は、ある予測点 r での L_{vr} を算出する際に基準となる値であり、既往の実測結果により与えられている。これによると、パイプロハンマの L_{vro} は r_o が 7.0m にて 72~92dB 程度、油圧ハンマの場合は 85~91dB 程度である。これらをもとに式-1 によって、1.5m 地点の L_{vr} は各々 84~104dB, 97~103dB と算出できる。

当 L_{vr} 範囲での分析結果を図-3 に示す。パイプロハンマ 20Hz の場合でも、振動波の伝播による応力 σ は固化処理土 q_u の 0.04 倍程度となっており、引張強度の目安となる 0.15 倍も大きく下回っている。一方、油圧ハンマ 300Hz の場合も同様の検討により、最大でも 0.003 倍程度のごく小さい応力に止まり、影響はないと評価できる。当結果は振動発生源から極めて近い 1.5m 地点での影響であるため、さらに発生源から遠くなる状況においては、ほぼ影響が見られない程度になると分析することができる。

6. まとめ： 打設直後で若材齢のセメント固化処理土において、ごく近傍で振動波を発生させる杭打ち作業が実施された場合の影響分析を実施した。その結果、当作業での振動波程度では固化処理土に甚大なダメージを与えるほどの影響はなく、十分無視できるものと評価された。本検討が、数多くの現場で見られる同様の作業によって生じる影響を評価する上で、基礎データの一つとして参考になるものと考えている。

【参考文献】1) 社団法人日本建設機械化協会：建設作業振動対策マニュアル, 1994. 2) 鋼管杭協会：鋼管杭 その設計と施工, 2004. 3) 秋園純一ら：杭打船の騒音、振動調査、港湾技研資料, No.353, 1980. 4) 今井常雄ら：地盤の弾性波速度と力学的性質, 物理探査, 25-6, 1972. 5) 財団法人沿岸技術研究センター：港湾・空港における軽量混合処理土工法の技術マニュアル(改訂版), 2008. 6) 塩田正純：公害振動の予測手法, 井上書院, 1986.