

1. まえがき

今日の土木、建築工事は、建設技術の進歩により大規模かつ複雑な構造物、建築物が、高い精度を要求されて短期間で施工されている。このため、建設機械も、原動機出力、機械重量が増大され大幅な性能向上が、図られた結果、付随的に発生する騒音、振動が著しいものとなり、これが建設工事公害とされ、法規制を受けるはかりか、工事の一時停止といった深刻な事態を引き起すまでに及んでしまった。

特に、ディーゼルパイルハンマ、振動パイルドライバで代表される基礎工事用機械から発生する騒音、振動は建設工事公害の代表と言われる程、著しいものであり、早くからその対策技術が研究開発されており、既に、数十種類以上の対策工法、機械と称されるものが、出現し施工に供されている。

既製ぐい工法では、当初、ディーゼルパイルハンマで最初から打込んでいた直打ち工法は、予め、アースオーガで先掘りしてからぐいを建込むプレボーリング工法や、ぐい中空部を掘削しつつ、ぐいを沈設する中掘工法等のいわゆる埋設ぐい工法に移り変っている。この工法は初期においては、支持層への打止めを打撃により行っていたが、この打止め時の騒音、振動も問題となるため、最近では、打止めを行わず、セメントミルク等による根固めで、ぐい先端処理を行うため、騒音、振動は現行の規制値を大幅に下回るものとなっているが、この工法で施工されたぐいは、支持力、施工速度、施工単価等の面で、従来の直打ちされたものに比べて、かなり劣っている。

また、土留工法においても、圧倒的に多く使用されていた振動パイルドライバによる振動打込工法は、油圧力、ウインチによる圧入、引抜工法または、アースオーガを併用する圧入工法へと移り変っており、その騒音、振動の対策効果は非常に著しいものであるが、埋設ぐい工法の場合と同様に、従来の工法と比べると施工速度、施工単価では大幅に劣っている。

このように、現在の基礎工法、機械は、騒音、振動対策の面では、かなり優れているが、施工能力、経済性には、多くの問題が残されており、その使用できる範囲が限定され、決定的な対策工法とはなり得ず、今後の技術開発が強く望まれている。

本研究課題では、基礎工法の実態を報告するとともに、現在、研究開発を進めている超高周波振動ぐい打工法の開発状況を紹介するものである。

2. 低騒音、低振動型基礎工法の実態と問題点

(1). 既製杭工法について

低騒音、低振動の既製ぐい工法と称されているもので、その工法の概要等を把握できたものは、約50工法あり、この内、施工能力、施工単価、施工例等の把握が、一応可能であった工法、機械を表-1に示す。表からも分かるように、これらの工法を、ぐいの建込方法で区分すると、プレボーリング工法、中掘工法、ウォータージェット工法に区別され、また、ぐいの建込補助手段をみると、圧入力を利用するか否か、掘削溶液を使用するか否でも区別される。更に、支持層でのぐい先端処理方法については、打撃による打止め、セメントミルクによる根固め、又は両者の併用等と区分できる。従って、表-2による分類方法で既開発の既製ぐい工法を、ぐいの建込方法、建込補助手段、先端処理方法について整理すると、表-1の分類欄に示す通りであり基本的に同一工法であるものの、開発した企業により、異った名称づけのされているものが多い。

表-1 低騒音低振動の既製くい工法の実態

工法名称 分類	企業名 開業時期	施行例 施行件数	対称とするくい法 くい径 深さ くい傾斜	適合地盤 N値 繰径	施工単価	施工速度	必要現場 場面様	騒音 レベル	振動 レベル
(フレスポ-リング工法)									
セメントシル7圧入工法 A-1be-(P・b+C)	アサノホール 昭和43年	φ500 L=20 149本 φ300 L=16 161本 その他 300件	深さ30m以下 max L=50m	シルト、粘土 N=20~30 砂質土 N=40~50 通部はφ30~40以下であり φ80~100は不可能	φ300 3000~4000円/m φ400 4000~5000円/m φ500 4500~6000円/m N値30程度で L=20m(2本掘)	φ300 5~7本/日 φ400 4~5本/日 φ500 3~5本/日 N値30程度で L=20m(2本掘)を施工時	三ノリ、グの組立解体の必要面積はセメントシル7のフロント設置面積で、 φ400 400m ²	くい沈設時 65~70dB(A)/30m モンケン沈設時 75dB(A)/30m	くい沈設時 55~60dB/20m モンケン沈設時 65dB/20m
大同クロスヘッド工法 (セメントシル7圧入工法) A-1be-(P・b+C)	大同コンクリート工業 昭和42年	φ450 L=25 53本 φ350 L=20 262本 昭和42年以降 240件	深さ30m以下 max L=50m	シルト、粘土 N=20~30 砂質土 N=40~50 通部はφ30~40以下であり φ80~100は不可能	φ300 3000~4000円/m φ400 4000~5000円/m φ500 4500~6000円/m N値30程度で L=20m(2本掘)	φ300 5~7本/日 φ400 4~5本/日 φ500 3~5本/日 N値30程度で L=20m(2本掘)を施工時	三ノリ、グの組立解体の必要面積はセメントシル7のフロント設置面積で、 φ400 400m ²	くい沈設時 65~70dB(A)/30m モンケン沈設時 75dB(A)/30m	くい沈設時 55~60dB/20m モンケン沈設時 65dB/20m
圧入式セメントシル7工法 A-1be-(P・b+C)	日本コンクリート工業 昭和43年	φ250 L=23 580本 φ400 L=18 800本 その他 330件	深さ30m以下 max L=50m	シルト、粘土 N=20~30 砂質土 N=40~50 通部はφ30~40以下であり φ80~100は不可能	φ300 3000~4000円/m φ400 4000~5000円/m φ500 4500~6000円/m N値30程度で L=20m(2本掘)	φ300 5~7本/日 φ400 4~5本/日 φ500 3~5本/日 N値30程度で L=20m(2本掘)を施工時	三ノリ、グの組立解体の必要面積はセメントシル7のフロント設置面積で、 φ400 400m ²	くい沈設時 65~70dB(A)/30m モンケン沈設時 75dB(A)/30m	くい沈設時 55~60dB/20m モンケン沈設時 65dB/20m
セメントシル7圧入工法 A-1be-(P・b+C)	前田製管 昭和48年	φ300 L=19 300本 φ300 L=20 12 946本 φ400 L=18 201件	深さ30m以下 max L=50m	シルト、粘土 N=20~30 砂質土 N=40~50 通部はφ30~40以下であり φ80~100は不可能	φ300 3000~4000円/m φ400 4000~5000円/m φ500 4500~6000円/m N値30程度で L=20m(2本掘)	φ300 5~7本/日 φ400 4~5本/日 φ500 3~5本/日 N値30程度で L=20m(2本掘)を施工時	三ノリ、グの組立解体の必要面積はセメントシル7のフロント設置面積で、 φ400 400m ²	くい沈設時 65~70dB(A)/30m モンケン沈設時 75dB(A)/30m	くい沈設時 55~60dB/20m モンケン沈設時 65dB/20m
地下杭構築工法 (セメントシル7圧入工法) A-1C-(P・b+C)	竹中工務店 昭和42年	φ450 L=19 230本 φ300 L=23 220本 φ400 L=18 14本 その他 330件	深さ30m以下 max L=50m	シルト、粘土 N=20~30 砂質土 N=40~50 通部はφ30~40以下であり φ80~100は不可能	φ300 3000~4000円/m φ400 4000~5000円/m φ500 4500~6000円/m N値30程度で L=20m(2本掘)	φ300 5~7本/日 φ400 4~5本/日 φ500 3~5本/日 N値30程度で L=20m(2本掘)を施工時	三ノリ、グの組立解体の必要面積はセメントシル7のフロント設置面積で、 φ400 400m ²	くい沈設時 65~70dB(A)/30m モンケン沈設時 75dB(A)/30m	くい沈設時 55~60dB/20m モンケン沈設時 65dB/20m
ドーナツ型セメントシル7工法 A-1Rbe-(P+C)	日東工業 昭和40年	φ400 L=15 800本 φ350 L=35 200本 その他 810件	深さ30m以下 max L=50m	シルト、粘土 N=20~30 砂質土 N=40~50 通部はφ30~40以下であり φ80~100は不可能	φ300 3000~4000円/m φ400 4000~5000円/m φ500 4500~6000円/m N値30程度で L=20m(2本掘)	φ300 5~7本/日 φ400 4~5本/日 φ500 3~5本/日 N値30程度で L=20m(2本掘)を施工時	三ノリ、グの組立解体の必要面積はセメントシル7のフロント設置面積で、 φ400 400m ²	くい沈設時 65~70dB(A)/30m モンケン沈設時 75dB(A)/30m	くい沈設時 55~60dB/20m モンケン沈設時 65dB/20m
大同オルケーシブ工法 A-1RW-C	大同コンクリート工業 昭和50年	φ400 L=10 10 90本 φ350 L=15 134本 その他 210件	深さ30m以下 max L=50m	シルト、粘土 N=20~30 砂質土 N=40~50 通部はφ30~40以下であり φ80~100は不可能	φ300 3000~4000円/m φ400 4000~5000円/m φ500 4500~6000円/m N値30程度で L=20m(2本掘)	φ300 5~7本/日 φ400 4~5本/日 φ500 3~5本/日 N値30程度で L=20m(2本掘)を施工時	三ノリ、グの組立解体の必要面積はセメントシル7のフロント設置面積で、 φ400 400m ²	くい沈設時 65~70dB(A)/30m モンケン沈設時 75dB(A)/30m	くい沈設時 55~60dB/20m モンケン沈設時 65dB/20m
基礎杭造成工法(ASP) A-1be-2R-C	住友建設 建設省四国地区 昭和47年	φ600 L=11 148本 φ600 L=28 94本 φ600 L=28 170本	深さ30m以下 max L=50m	シルト、粘土 N=20~30 砂質土 N=40~50 通部はφ30~40以下であり φ80~100は不可能	φ300 3000~4000円/m φ400 4000~5000円/m φ500 4500~6000円/m N値30程度で L=20m(2本掘)	φ300 5~7本/日 φ400 4~5本/日 φ500 3~5本/日 N値30程度で L=20m(2本掘)を施工時	三ノリ、グの組立解体の必要面積はセメントシル7のフロント設置面積で、 φ400 400m ²	くい沈設時 65~70dB(A)/30m モンケン沈設時 75dB(A)/30m	くい沈設時 55~60dB/20m モンケン沈設時 65dB/20m
NHP工法 A-1-b	間組 昭和51年	φ600 L=60 75本 φ600 L=40 2本 その他 2件	深さ30m以下 max L=50m	シルト、粘土 N=20~30 砂質土 N=40~50 通部はφ30~40以下であり φ80~100は不可能	φ300 3000~4000円/m φ400 4000~5000円/m φ500 4500~6000円/m N値30程度で L=20m(2本掘)	φ300 5~7本/日 φ400 4~5本/日 φ500 3~5本/日 N値30程度で L=20m(2本掘)を施工時	三ノリ、グの組立解体の必要面積はセメントシル7のフロント設置面積で、 φ400 400m ²	くい沈設時 65~70dB(A)/30m モンケン沈設時 75dB(A)/30m	くい沈設時 55~60dB/20m モンケン沈設時 65dB/20m
(中掘工法)									
ND式バイラルオガ中掘工法 (ND-2) A-2P-C	日本コンクリート工業 昭和48年	φ600 L=7 346本 φ700 L=40 120本 その他 25件	深さ30m以下 max L=50m	シルト、粘土 N=20~30 砂質土 N=40~50 通部はφ30~40以下であり φ80~100は不可能	φ300 3000~4000円/m φ400 4000~5000円/m φ500 4500~6000円/m N値30程度で L=20m(2本掘)	φ300 5~7本/日 φ400 4~5本/日 φ500 3~5本/日 N値30程度で L=20m(2本掘)を施工時	三ノリ、グの組立解体の必要面積はセメントシル7のフロント設置面積で、 φ400 400m ²	くい沈設時 65~70dB(A)/30m モンケン沈設時 75dB(A)/30m	くい沈設時 55~60dB/20m モンケン沈設時 65dB/20m
TSD工法 A-2P-C	テノックス 昭和49年	φ500 L=34 105本 φ500 L=50 107本 その他 20件	深さ30m以下 max L=50m	シルト、粘土 N=20~30 砂質土 N=40~50 通部はφ30~40以下であり φ80~100は不可能	φ300 3000~4000円/m φ400 4000~5000円/m φ500 4500~6000円/m N値30程度で L=20m(2本掘)	φ300 5~7本/日 φ400 4~5本/日 φ500 3~5本/日 N値30程度で L=20m(2本掘)を施工時	三ノリ、グの組立解体の必要面積はセメントシル7のフロント設置面積で、 φ400 400m ²	くい沈設時 65~70dB(A)/30m モンケン沈設時 75dB(A)/30m	くい沈設時 55~60dB/20m モンケン沈設時 65dB/20m
TAIP工法 (中掘ジェット工法) A-2W-C	武智工務所 昭和44年	400件	深さ30m以下 max L=50m	シルト、粘土 N=20~30 砂質土 N=40~50 通部はφ30~40以下であり φ80~100は不可能	φ300 3000~4000円/m φ400 4000~5000円/m φ500 4500~6000円/m N値30程度で L=20m(2本掘)	φ300 5~7本/日 φ400 4~5本/日 φ500 3~5本/日 N値30程度で L=20m(2本掘)を施工時	三ノリ、グの組立解体の必要面積はセメントシル7のフロント設置面積で、 φ400 400m ²	くい沈設時 65~70dB(A)/30m モンケン沈設時 75dB(A)/30m	くい沈設時 55~60dB/20m モンケン沈設時 65dB/20m
HAS中掘工法 A-2P-(P・b・C)	阪南基礎工事 昭和51年	φ600 L=42 4本 φ700 L=25 70本 その他 2件	深さ30m以下 max L=50m	シルト、粘土 N=20~30 砂質土 N=40~50 通部はφ30~40以下であり φ80~100は不可能	φ300 3000~4000円/m φ400 4000~5000円/m φ500 4500~6000円/m N値30程度で L=20m(2本掘)	φ300 5~7本/日 φ400 4~5本/日 φ500 3~5本/日 N値30程度で L=20m(2本掘)を施工時	三ノリ、グの組立解体の必要面積はセメントシル7のフロント設置面積で、 φ400 400m ²	くい沈設時 65~70dB(A)/30m モンケン沈設時 75dB(A)/30m	くい沈設時 55~60dB/20m モンケン沈設時 65dB/20m
島田式中掘工法 A-2P-(b・C)	島田基礎工事 昭和45年	300件以上	深さ30m以下 max L=50m	シルト、粘土 N=20~30 砂質土 N=40~50 通部はφ30~40以下であり φ80~100は不可能	φ300 3000~4000円/m φ400 4000~5000円/m φ500 4500~6000円/m N値30程度で L=20m(2本掘)	φ300 5~7本/日 φ400 4~5本/日 φ500 3~5本/日 N値30程度で L=20m(2本掘)を施工時	三ノリ、グの組立解体の必要面積はセメントシル7のフロント設置面積で、 φ400 400m ²	くい沈設時 65~70dB(A)/30m モンケン沈設時 75dB(A)/30m	くい沈設時 55~60dB/20m モンケン沈設時 65dB/20m
TOS工法 (ドロップオ-カ工法) A-2P-(b・C)	都南基礎工事 昭和46年	φ500 L=43 354本 φ500 L=41 454本 φ900 L=22 21本	深さ30m以下 max L=50m	シルト、粘土 N=20~30 砂質土 N=40~50 通部はφ30~40以下であり φ80~100は不可能	φ300 3000~4000円/m φ400 4000~5000円/m φ500 4500~6000円/m N値30程度で L=20m(2本掘)	φ300 5~7本/日 φ400 4~5本/日 φ500 3~5本/日 N値30程度で L=20m(2本掘)を施工時	三ノリ、グの組立解体の必要面積はセメントシル7のフロント設置面積で、 φ400 400m ²	くい沈設時 65~70dB(A)/30m モンケン沈設時 75dB(A)/30m	くい沈設時 55~60dB/20m モンケン沈設時 65dB/20m
中掘工法 A-2P-b	前田製管 昭和50年	φ500 L=36 100本 φ450 L=29 93本 その他 10件	深さ30m以下 max L=50m	シルト、粘土 N=20~30 砂質土 N=40~50 通部はφ30~40以下であり φ80~100は不可能	φ300 3000~4000円/m φ400 4000~5000円/m φ500 4500~6000円/m N値30程度で L=20m(2本掘)	φ300 5~7本/日 φ400 4~5本/日 φ500 3~5本/日 N値30程度で L=20m(2本掘)を施工時	三ノリ、グの組立解体の必要面積はセメントシル7のフロント設置面積で、 φ400 400m ²	くい沈設時 65~70dB(A)/30m モンケン沈設時 75dB(A)/30m	くい沈設時 55~60dB/20m モンケン沈設時 65dB/20m
TN式中掘工法 A-2P-b	テノックス 昭和45年	φ450 L=18 2100本 φ500 L=34 2350本 その他 2100本	深さ30m以下 max L=50m	シルト、粘土 N=20~30 砂質土 N=40~50 通部はφ30~40以下であり φ80~100は不可能	φ300 3000~4000円/m φ400 4000~5000円/m φ500 4500~6000円/m N値30程度で L=20m(2本掘)	φ300 5~7本/日 φ400 4~5本/日 φ500 3~5本/日 N値30程度で L=20m(2本掘)を施工時	三ノリ、グの組立解体の必要面積はセメントシル7のフロント設置面積で、 φ400 400m ²	くい沈設時 65~70dB(A)/30m モンケン沈設時 75dB(A)/30m	くい沈設時 55~60dB/20m モンケン沈設時 65dB/20m
ND式バイラルオガ中掘工法 (ND-1) A-2P-b	日本コンクリート工業 昭和40年	φ600 L=18 809本 φ1000 L=40 552本 その他 250件	深さ30m以下 max L=50m	シルト、粘土 N=20~30 砂質土 N=40~50 通部はφ30~40以下であり φ80~100は不可能	φ300 3000~4000円/m φ400 4000~5000円/m φ500 4500~6000円/m N値30程度で L=20m(2本掘)	φ300 5~7本/日 φ400 4~5本/日 φ500 3~5本/日 N値30程度で L=20m(2本掘)を施工時	三ノリ、グの組立解体の必要面積はセメントシル7のフロント設置面積で、 φ400 400m ²	くい沈設時 65~70dB(A)/30m モンケン沈設時 75dB(A)/30m	くい沈設時 55~60dB/20m モンケン沈設時 65dB/20m
(ウ-ラジエント工法)									
JJパイル工法 A-3W-P	熊谷組 昭和47年	φ800 L=40 222本 φ500 L=12 462本 その他 2件	深さ30m以下 max L=50m	シルト、粘土 N=20~30 砂質土 N=40~50 通部はφ30~40以下であり φ80~100は不可能	φ300 3000~4000円/m φ400 4000~5000円/m φ500 4500~6000円/m N値30程度で L=20m(2本掘)	φ300 5~7本/日 φ400 4~5本/日 φ500 3~5本/日 N値30程度で L=20m(2本掘)を施工時	三ノリ、グの組立解体の必要面積はセメントシル7のフロント設置面積で、 φ400 400m ²	くい沈設時 65~70dB(A)/30m モンケン沈設時 75dB(A)/30m	くい沈設時 55~60dB/20m モンケン沈設時 65dB/20m
TSロ-タリー工法 A-3RW-C	アサノホール 昭和48年	φ350 L=25 75本 φ400 L=36 75本 その他 15本	深さ30m以下 max L=50m	シルト、粘土 N=20~30 砂質土 N=40~50 通部はφ30~40以下であり φ80~100は不可能	φ300 3000~4000円/m φ400 4000~5000円/m φ500 4500~6000円/m N値30程度で L=20m(2本掘)	φ300 5~7本/日 φ400 4~5本/日 φ500 3~5本/日 N値30程度で L=20m(2本掘)を施工時	三ノリ、グの組立解体の必要面積はセメントシル7のフロント設置面積で、 φ400 400m ²	くい沈設時 65~70dB(A)/30m モンケン沈設時 75dB(A)/30m	くい沈設時 55~60dB/20m モンケン沈設時 65dB/20m
大同式ウ-ラジエント工法 A-3W-C・b	大同コンクリート工業 昭和35年	φ700 L=14 11本 φ450 L=24 552本 その他 2件	深さ30m以下 max L=50m	シルト、粘土 N=20~30 砂質土 N=40~50 通部はφ30~40以下であり φ80~100は不可能	φ300 3000~4000円/m φ400 4000~5000円/m φ500 4500~6000円/m N値30程度で L=20m(2本掘)	φ300 5~7本/日 φ400 4~5本/日 φ500 3~5本/日 N値30程度で L=20m(2本掘)を施工時	三ノリ、グの組立解体の必要面積はセメントシル7のフロント設置面積で、 φ400 400m ²	くい沈設時 65~70dB(A)/30m モンケン沈設時 75dB(A)/30m	くい沈設時 55~60dB/20m モンケン沈設時 65dB/20m

備考

1. 本表はあくまで騒音振動対策工法の実態、問題点を把握するために作成したものであり、個々の工法間の比較を目的としたものではない。
2. 調査は既得資料、企業の工法パンフレット及び電話による問合せ等によって簡単にされており、調査精度には問題が残されているので、同種類の工法グループ間の比較が可能である。
3. 施工件数、施工単価については昭和50年～52年度におけるものであり統一されていない。以上

次に、従来の直打ち工法、プレボーリング工法、中掘工法についての相互比較したものが表-3であり、プレボーリング工法は、比較的小口径の短ぐいに使用され、施工断面も中掘工法に比べて窄い傾向にある。一方、中掘工法は、中、大口径の長ぐいに使われており、工法が開発された時期も新しい。

表-2 既製ぐい工法の分類方法

建込方法	建込補助手段	先端処理方法
プレボーリング工法 A-1	圧入 P	圧入 P
	打撃 b	根固め (セメントミルク) C
中掘工法 A-2	回転圧入 R	
	振削溶液 be	
圧入工法 A-3	ワータジェット w	打撃 b

建込、建込補助、先端処理のプロセスで併用、又は、選択の2つ以上の方法を用いる場合の表示は、次による。

- (1) 併用の場合 $X \text{ and } Y \rightarrow X+Y$ ex. A-1be-(P+C)
 (2) 選択の場合 $X \text{ or } Y \rightarrow X.Y$ ex. A-1be-(bP+C)

表-3 既製ぐい工法の相互比較

比較内容	工法名	ディーゼルハンマによる直打ち工法	プレボーリング工法 根固め方式 A-1-(P+C)	中掘 根固め方式 A-2P-(P+C)	打止め方式 A-2P-b
通常施工されるぐ径		300 ~ 1,000 φ	300 ~ 600 φ	400 ~ 1,200 φ	400 ~ 1,200 φ
通常施工されるぐ長		10 ~ 40 m	10 ~ 30 m	20 ~ 40 m	20 ~ 40 m
施工速度 N 値 30 程度 $\phi 500$ $L=20m$ (2本掘)		12 ~ 13 本/日	3 ~ 5 本/日	4 ~ 5 本/日	5 ~ 6 本/日
施工単価 N 値 30 程度 $\phi 500$ $L=20m$ (100本施工)		1,300 ~ 1,600 円/m	4,500 ~ 6,000 円/m	4,500 ~ 6,000 円/m	4,000 ~ 5,000 円/m
許容支持力 (R_u) の算定方式		$\frac{1}{3} \{ 30N \cdot Ap + \frac{1}{5} N_s \cdot As + \frac{1}{2} N_c \cdot Ac \}$	$\frac{1}{3} \{ 20N \cdot Ap + \frac{1}{5} N_s \cdot As + \frac{1}{2} N_c \cdot Ac \}$ (東京都指導基準案)		
騒音レベル		85 ~ 90 dB(A)/30m (全体的に 70 dB(A))	65 ~ 70 dB(A)/30m		80 ~ 85 dB(A)/30m
振動レベル		70 ~ 75 dB/20m	55 ~ 60 dB/20m		65 ~ 70 dB/20m
開発時期		昭和 5 年 (ドイツ) 昭和 29 年 (国産)	昭和 42 ~ 48 年	昭和 40 ~ 50 年	昭和 48 ~ 49 年
その他		中間層が硬い場合は施工が難しい。	地盤によっては孔壁の崩壊、高止りの問題がある。	粘土、粘性土では、長さぐいの場合、中圧の上昇により破砕する危険がある。	

(2) 土留工法について

既製ぐい工法の場合と同様に、工法の概要、施工能力、施工単価等が一応、把握できたものと、表-4に示す。土留工法の場合は、圧入専用、引抜専用、圧入：引抜両用工法となっており、圧入、引抜きを油圧力又はウィンチ力のみで行うものと、アースオーガ、振動パイルドライバ、モンケンヤウオータジェットを併用するもの等到大別される。従って、表-5による分類方法で、既開発の土留工法、機械を分類すると、表-4の分類欄に示す通りであり、基本的には、同種類の工法と見なせるものが多い。次に、表-4を参考にして、各工法間の相互比較したものが、表-6である。これより、既製ぐい工法にみられたように、土留工法の場合も騒音、振動対策効果は十分認められる工法が多いが、従来の振動打込、引抜工法に比較して、施工速度、施工単価等の面では、かなり劣っていることが認められる。

(3) 今後の技術開発、改良について

以上、既製ぐい工法、土留工法の実態をみると、従来、ディーゼルパイルハンマ、振動パイルドライバ等の専用機により施工されていた基礎工法は、騒音、振動問題に対処すべく、アースオーガ、セメント根固め、油圧力、ウィンチ力等を併用する工法へと移り変っている。この併用工法は、表-3、表-6からも分かるように、騒音、振動については、十分な効果が得られているが、性能については、概ね、施工速度が $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{4}$ 、施工単価は2 ~ 4倍というように大幅な低下がみられるばかりか、埋設ぐいでは、その支持力の低下、土留工法の場合は施工現場の制約条件等の問題が残されている。しかしこれらの問題は、施工業者、製作メーカー等においても、改良研究が進められており、現在の併用工法は、今後、更に進歩すると思われる。一方、従来工法の優れた施工性能を確歩しつつ、騒音、振動対策を図ろうとする試みも続けられており、その一つとして、一時期、欧米で使用された振動パイルドライバの振動数を上げ、ぐいと共振させてぐいを打込む、いわゆる共振ぐい打工法の研究開発が、現在、数機

表-5 土留工法、機械の分類方法

圧入、引抜方法	補助手段
ウィンチ力 F-1	アースオーガ a
油圧力 F-2	
振動パイルドライバ F-3	ワータジェット w
ドロップハンマ F-4	

2つ以上の方法を併用する場合は、表-2の場合と同様に表示する。

表-4 低騒音、低振動の土留工法の実態

工法名称 分類	企業名 開発時期	施工例 施工件数	対象とするく及び適合地盤		施工単価	施工速度	必要 現場面積	騒音 レベル	振動 レベル
			種類	寸法長 N 値					
スラスト&プラウト工法 F-1 (両用)	近藤組 丸紅機械販売 昭和49年	○ ϕ 20m 570枚 ○ ϕ 11m 131枚 その他150件	シートパイル H鋼杭	$\ell=20m$	砂質土 50以下	スラスト工法(往) 2,500~3,500円/m プラウト工法(往) 2,000~2,500円/m			
多滑車式引抜工法 F-1 (引抜)	小松建設工業 昭和50年	○ ϕ 27~29m 89枚 その他多数			粘土、シルト 30以下	1,500~2,500円/m N値30	8~15枚/日 N値20~30 SP-III $\ell=10m$	ベースマシン(ドラム) クレーン等の設置面積以上	70dB(A)/7m 50~60dB/10m
鋼矢板等の引抜工法 F-1.4 (引抜)	東洋建設 昭和50年	○ ϕ 8m 2440枚 ○ ϕ 12m 120枚 ○ ϕ 7m 190枚 ○ ϕ 10m 442枚	シートパイル	$\ell=12$ ~13m	粘土、シルト 30~40	N値30			
無振動・無騒音鋼矢板 打込工法 F-1a.4 (圧入)	大本組 昭和51年	○ ϕ 7.5m 2350枚 ○ ϕ 9m 2686枚 ○ ϕ 11m 60枚	シートパイル H鋼杭	$\ell=7.5$ ~11m	砂質 シルト 40以下	2,000~2,500円/m SP-III $\ell=10m$ 300枚施工			
無振動・無騒音圧入機 F-1aw.4 (圧入)	東急建設 昭和50年	○ ϕ 5.5m 380枚 ○ ϕ 11m 260枚 その他数件	シートパイル						
NISPI工法 F-1a (圧入)	新日本製鉄 三和機械 昭和50年	○ ϕ 18m 132枚 ○ ϕ 17m 101枚 その他60件							
TSP工法 F-1a (圧入)	都府基礎工事 昭和49年	○ ϕ 15m 315枚 その他21件	シートパイル 鋼音杭						
HAS工法 F-(1+2)a (圧入)	阪南基礎工事 日本建設機械 昭和50年	○ ϕ 7~12m 730枚 ○ ϕ 17m 1500枚 その他100件	シートパイル						
MAP工法 F-2a (圧入)	丸泰土木、西松建設 五洋建設、川鉄商事 昭和48年	○ ϕ 7~12m 1200枚 ○ ϕ 7~12m 618枚 その他150件	シートパイル H鋼杭 鋼音杭	$\ell=18.5$ ~ 24m	砂質土 50以下	3,000~4,000円/m N値20~30 100枚施工	10~15枚/日 N値20~30 SP-III $\ell=10m$	3点式リッターポスト付ベースマシンの 設置面積以上	
SSS工法(スィズ) F-2a (圧入)	三和機械 三信建設 昭和49年	数十件							
Mini MAP工法 F-2a (圧入)	川鉄商事 住友重機、マテック 昭和48年	数十件 70台販売	シートパイル	$\ell=7m$	30以下	2,500円/m N値30	8枚/日 N値30 SP-III $\ell=10m$	ベースマシン の設置面積以上	
パイルプラー F-2 (引抜)	平林製作所 住友商事 昭和42年	販売のみ							
タリガー・ジャッキ F-2 (引抜)	代々木重機 昭和49年	○ ϕ 26m ○ ϕ 30m その他200件	シートパイル 鋼音杭						
トランキー工法 F-2 (圧入)	代々木重機 昭和50年	○ ϕ 15m 600枚 ○ ϕ 11~12m 897枚 その他180件							
HS工法 F-2 (両用)	千代田製作所 昭和51年	○ ϕ 11m 448枚 ○ ϕ 6m 1700枚 その他数件							
サイレントパラー F-2 (両用)	高知技研 昭和49年	○ ϕ 5m 2215m ○ ϕ 5m 5570m ○ ϕ 12m 2700m その他多数あり	シートパイル						
高速微振動杭打機 (LSV-120型) F-3 (両用)	建設機械調査 団、建機 昭和51年		シートパイル H鋼杭		砂質土35 粘土、シルト30	1,700円/m 普通土 500枚施工	20~25枚/日 N値20~30 SP-III $\ell=10m$		60dB/10m 75~80dB/7m
W-J工法(ワグジャ) F-3w (打込)	熊谷組 昭和49年	○ ϕ 10.5~15m 653枚 ○ ϕ 10m 86本 その他30件	シートパイル H鋼杭 鋼音杭						
M.J.V工法 (ジェットバタ) F-3w (打込)	三菱建設 昭和50年	○ ϕ 19.5m 648枚 ○ ϕ 12.0m 110枚 その他11件	シートパイル						
ジェットパイロ打込機 F-3w (打込)	建設機械調査 団、池組 昭和48年								
EVH工法 F-(2a+3) (打込)	建設機械調査 武東工務店		シートパイル H鋼杭	$\ell=20$ ~22m	砂質土 50以下	2,500~3,000円/m N値20~30 300枚施工	15~20枚/日 N値20~30 SP-III $\ell=10m$	NISPI法 等の場合 と同様	60~70dB(A)/15m 65~75dB/10m
NIT工法 F-1.2.3a (打込)	日平産業 丸紅 昭和51年	8台販売	シートパイル H鋼杭			$\ell=10$ ~15m			

- 備考 1. 本表はあくまで騒音振動対策工法の実態、問題点を把握するために作成したものであり、個々の工法間の比較を目的としたものではない。
2. 調査は既存資料、企業の工法パンフレット及び電話による問合せ等で行われており、調査精度には問題が残されているので、同種類の工法、フル・ブーム間の比較までが可能である。
3. 施工件数、施工単価については、昭和50年~52年度におけるものであり統一されていない。
- 以上

表-6 土留工法の相互比較

比較内容 \ 工法名	振動バイルドライバによる振動打込工法 F-3	ウィンチ力による 圧入又は引抜き工法 F-1	油圧力による圧入 引抜き工法 F-2	アースオーガ併用の 圧入工法 F-1a, F-2a	振動バイルドライバの 改良、ウォッシュ工法 F-3w
通常施工されるくい単長	フレンの容量、起振力で限定される	12 ~ 13 m	くい単長は圧入、引抜きで制限される	18.5 ~ 24 m	フレンの容量で限定される
適合地盤	一般的にN値 30~40以下		一般的にN値 40以下	一般的にN値 50以下	
施工速度 N値 20~30 SP-Ⅲ $\ell=10m$	20 ~ 30 枚/日	8 ~ 15 枚/日	10 ~ 20 枚/日	10 ~ 15 枚/日	15 ~ 20 枚/日
施工単価 N値 20~30 SP-Ⅲ $\ell=10m$ 100枚施工	800 ~ 900 円/m	1,500 ~ 2,500 円/m	2,000 ~ 3,000 円/m	3,000 ~ 4,000 円/m	2,500 ~ 3,000 円/m
騒音レベル	75 ~ 85 dB(A) / 15m	60 ~ 75 dB(A) / 15m			60 ~ 75 dB(A) / 15m
振動レベル	70 ~ 80 dB / 10m	50 ~ 60 dB / 10m			65 ~ 75 dB / 10m
開発時期	昭和9年(ソビエト) 昭和34年(国産化)	昭和49~50年	昭和42~51年	昭和48~50年	昭和48~51年
その他	—	圧入時に、シートパイルの垂直精度が下り、反りを生ずる。既設のくいから反力をとるもの以外は足場に制限がある。	機械が大きいと、また足場に制限がある。		騒音、振動の対策効果小さい。

開で行われている。土木研究所も、昭和51年度から油圧を利用した振動数、起振力可変形の起振機を開発し、共振くい打工法の開発可能性を研究しているので、その概要を以下簡単に紹介する。

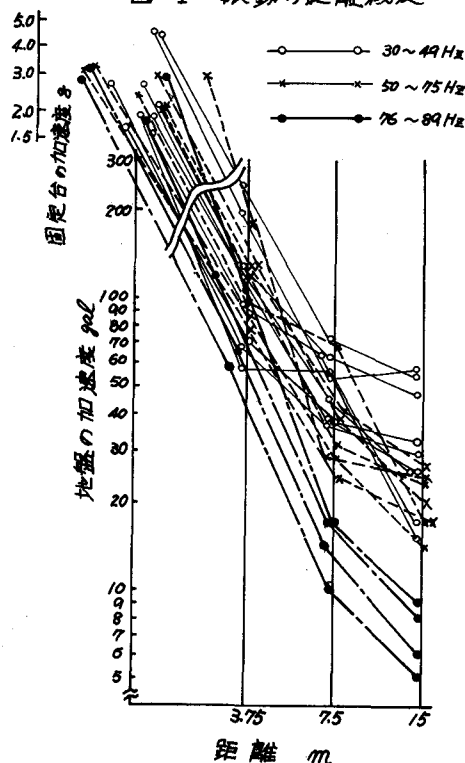
3. 共振くい打工法の研究開発状況

振動バイルドライバによる共振くい打工法は、くいを上下に振動させることにより、くいと周辺地盤の摩擦抵抗力を減少させ、くいの打込、引抜きを行うものであり、必然的に周辺の地盤振動は著しいものになってしまう。共振くい打工法は、通常の振動くい打工法で、くいを20 Hz前後の振動数で剛体として振動させていることに對し、くいを弾性体として拳動する100 Hz前後でくいを振動させ、この時にくい先端で生じる共振による振幅の増幅量を利用して杭を急速に打込もうとするものである。この工法の最大の利点としては、100 Hz前後でくいを振動した場合、くいから周辺地盤への振動伝達率が小さく、また、地盤振動の伝播中の減衰量が大きいため、地盤振動対策に効果的であると考えられているが、デメリットとしては、高周波でくいを振動させるため、非常に大きな動力を必要とすること、偏心体を回してこの起振力を発生させた場合、軸受に使用するベアリングの耐久性等の技術的問題が解決されず、前述のように、欧米では、現在、この工法は姿を消している。しかし、今日、急速に進んだ油圧制御の技術では、100 Hz以上の起振力の発生が容易となったため、この研究開発が再度行われ始めたとと思われる。我々は、この工法の開発可能性を調べるために以下の実験、研究を行った。

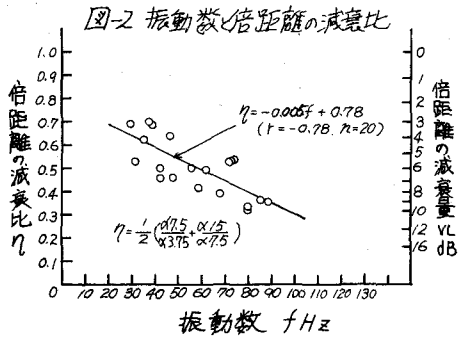
(1) 高周波振動の距離減衰について

地盤振動の距離減衰量を決定するのは、一般に地盤の性状、振動数、振動の大きさ等の要因とされているが、共振くい打機を開発した場合、どの程度の減衰効果が得られるかを確認するため、前述の起振機で地中に埋込んだ10 ton (1.5 × 1.5 × 2 m) のコンクリート基礎に振動数30 ~ 90 Hzで加振し、その時の振動伝播状態を調べたのが図-1である。図より距離減衰に最も寄与しているのは、振動数の大小と考えられ、これを更に詳しく調べるため、各振動数について、3.75

図-1 振動の距離減衰



mの加速度($\alpha_{3.75}$)と7.5mの加速度($\alpha_{7.5}$)の減衰比($\eta_1 = \alpha_{7.5}/\alpha_{3.75}$)および7.5と15mの加速度(α_{15})の減衰比($\eta_2 = \alpha_{15}/\alpha_{7.5}$)の平均値を求めたものが図-2である。この結果、減衰比 η と振動数 f の関係は、 $\eta = -0.005f + 0.78$ で示され、これを振動レベル(dB)の倍距離減衰量に換算すると概ね30Hzで3~4dB、50Hzで5~7dB、90Hzで9~11dBとなり、高周波振動の減衰量は著しく大きいことが確認できた。



(2) くいの貫入特性について

くいに与える振動と貫入特性について調べたのが、図-3であり、機械重量が同じ場合には貫入速度、貫入深さはくいの振幅で支配され加速度の大小には関係ない。また、同時に行った実験から振幅が一定の場合には、機械重量の大きい程、貫入力も大きいことが確認されており、現在、くいの振幅量、機械重量が貫入力に与える寄与率を補足実験を行いつつ解析中であるが、共振くい打工法と言えども、通常の振動くい打工法の場合と同様にくいの周辺摩擦を打ち破るための最小必要振幅量が要求されると考えられる。

(3) 共振くい打機の開発上の問題点

上記(2)のくい打実験を行った地盤を対象として、共振くい打工法を行う場合に要求される機械の性能、地盤振動などの程度のものになるかを推定すると表-7に示す通りであり、共振くい打工法は、地盤振動の対策には非常に効果的であるが、くいを高速で振動させるために、通常の振動パイルドライバに比較して3~4倍の動力が必要となる。この推定では、過去に行われた研究報告等から、共振により、くい先端では5倍程度の振幅増幅量が得られるとしているが、この増幅効果がどこまで利用できるか否かで、原動機容量は大幅に変化し、共振くい打工法の開発可能性を決める重要な要因となる。この問題については、現在、くいの共振現象を調べるための実験を計画中であり、この結果をみた上で、次に問題となる、共振によりくいから発生すると考えられる共振音対策及び大きな繰返し荷重を受ける機械部品の耐入力対策を行ってゆくことになると思われる。

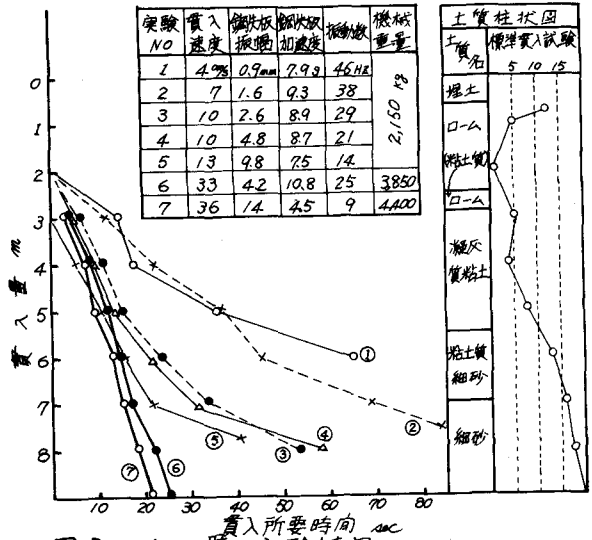


図-3 くいの貫入実験結果

表-7 共振くい打機に要求される性能等

仕様書	くい打機の種類	通常の振動パイル	高周波振動くい打機	共振くい打機
振動数 f Hz		18 ~ 20	50 ~ 60	100 ~ 120
必要振幅量(くい先端) r_1 mm		4.5	4.5	4.5
〃 (くい頭部) r_0 mm		4.5	4.5	0.9
くい加速度(くい先端) α_1		6.0 ~ 7.5	45 ~ 65	180 ~ 260 (35 ~ 50)
必要偏心モーメント K_0 kg.cm		1,350	675	135
原動機容量 W_0 kW		30 ~ 40	300 ~ 500	100 ~ 150
15m地点の振動加速度 a_{15} g		10 ~ 15	50 ~ 60	15 ~ 10
倍距離の減衰量 dB		3	5 ~ 7	10 ~ 14
15m地点の振動レベル		75	80	55 ~ 60
地盤条件		土木研究所構内グラウンド程度の地盤 1~2m埋土N値10~15、2~6m粘土N値5、6~10m細砂N値5		
鋼天板		SP-Ⅲ、 $l=10m$ $W=600kg$ 、 $S=764cm^2$		