報告 合成部材での未充填部の打音法検査に関する実物大実験

秋山 哲治*1・清宮 理*2・北澤 壮介*3・白石 修章*4

要旨:合成部材における鋼殻内部のコンクリートの充填状況を評価するための打音検査 法について,実物大模型での実験によって適用性を検討した.実験では打音の卓越振動 数,振幅の減衰状況を指標としてコンクリート未充填部の判定を行い,打音法検査によ る判定結果の妥当性・限界などを評価した.また,コンクリートおよび鋼板単体での打 音波形と,小型供試体を用いた室内実験¹⁾での結果を加えて,種々の条件下での振動特 性を考察し,充填状況を判定する基準を検討した.

キーワード:非破壊検査,打音法,合成部材,未充填部,卓越振動数

1. まえがき

鋼・コンクリート合成部材では, 鋼殻内部の コンクリートの充填状況を目視にて確認できな い.このため,充填状況の検査方法には,幾つ かの方法が提案されている.合成構造沈埋函で 現在採用されているRI法⁴⁾は,未充填部の深さ を検出できるが,作業が迅速に行えず,かつ高 価である.この充填検査におけるデメリットを 補うための検査方法として,打音法に着目し, 図-1に示す方法で充填検査を行うことを現在想 定している.打音法により未充填範囲を特定し, この範囲のみRI法を適用して深さを特定するも のである.従来と比較して,現場での作業を大 幅に簡素化できる方法である.

これまで、小型模型を対象とした打音検査に よって、直径10cm以上の未充填部を特定できる ことや、鋼板の厚さにも拠るが、卓越振動数を 評価指標とすることで未充填部を検出すること が可能であり、およそ2.4kHz以下の振動数帯が 卓越するものを未充填部とすればよいこと、な どの知見が得られている¹⁾.

本報告では,実物大模型での実験によって, 打音法の実構造物への適用性を検討した結果に



ついて述べる.実験では打音の卓越振動数・振幅の減衰状況を指標として未充填部の判定を行い、判定結果の妥当性・限界など、特に鋼板と コンクリートのはく離の問題を検討した.実験 の対象とする合成部材は、未充填部が部材の力 学性状に及ぼす影響が大きいと予想される図-2 に示す沈埋函上床版とした.

- *1 若築建設(株) 技術本部技術研究所 (正会員)
- *2 早稲田大学 教授 理工学部土木工学科 工博 (正会員)

*3 国土交通省国土技術政策総合研究所 港湾研究部港湾新技術研究官 工修 (正会員)

*4 (財)沿岸開発技術研究センター 第二調査部長 工博 (正会員)



2. 打音法検査の概要

2.1 実物大模型

本実験の供試体を図-3に示す.図-2に示した 沈埋函上床版の一区画の1/4をモデルとし,長さ 1.5m,幅1.5m,高さ1mである.コンクリートの 打設孔が,鋼殻の隅に設けてあり,鋼板の材質 はSS400で,板厚は12mmである.また,シアコ ネクタはL-200×200×15である.スランプフロ -550mmの流動化コンクリートを鋼殻内に充 填した後,打音法で充填状況の判定を行った. 採取したコアによる材齢28日の圧縮強度試験の 結果は53.0N/mm²であった.

2.2 検査装置

測定の構成を図-4に示す.打撃はインパクト ハンマーにより人力で行った.測定はコンデン サー式マイクロフォンで,打撃点のすぐ傍にお いて行った.実験に用いたマイクロフォンは, 測定振動数20Hz~20kHz,波形振幅30~135dB で測定できる.発生した打撃音をマイクロフォ ンによって電気信号に変換し,これを高速フー リエ変換して分析した.図-3に示した各計測点 で打撃を行いながら,鋼板で振動音を測定した.



3. 充填性評価方法の設定

3.1 各材料単体での振動特性

図-5に、マッシブなコンクリートの打音波形 (表面に鋼板のない場合)を示す.これは、本 実験と同一の材料および配合で作製され、本実 験と同程度の寸法を持つコンクリートブロック での打音波形(材齢30日に測定)である.3kHz 程度以下の低い振動数帯でのスペクトル振幅が 大きいこと、15kHz付近の振動数帯で明確なピ ークを持つことが確認された.振動の継続時間

(本報告では,振幅が最大振幅の1/10になるまでの時間と定義した)は3.2msecと非常に短かく,
10msec経過すると振幅がほぼ0になった.音色も硬い感じの音となった.

図-6に、実物大模型の鋼板のみの波形を示す. これは、コンクリートを充填する前に鋼板を打 撃した結果で、鋼板の裏面は空洞になっている. 2kHz以下の低振動数帯に、コンクリート単体の



結果よりも明確なピークが存在した.15kHz程 度にはピークは現れなかった.振動の継続時間 は38msec以上であり,コンクリート単体よりも かなり長かった.また,音色は低い感じがした.

3.2 室内実験での振動特性

小型供試体を用いた室内実験¹⁾では、未充填 部を検出するための目安を、卓越振動数2.4kHz 以下とした.この室内実験での充填部および未 充填部の打音波形(材齢41日に測定)の一例を、 図-7および図-8に示す.

未充填部の振動特性は,2.4kHz以下に顕著な 卓越があった.また,振動の継続時間および音 色など,鋼板単体と類似する結果となった.

一方,充填部の波形には,未充填部のような 顕著な卓越はなかった.また,15kHz付近のス ペクトル振幅は小さいものの,コンクリート単 体と同様に,5kHz以下および15kHz程度でピー クが確認された.振動の継続時間や音色も,コ ンクリート単体と同様の傾向が認められた.

3.3 判定基準の設定

小型供試体を用いた室内実験¹⁾では、卓越振 動数2.4kHz以下をしきい値に設定することによ って、充填部と未充填部の識別が可能と考えら れた.しかし、実物大実験では、後述するよう に、顕著に卓越する振動特性ではなく、5kHz以 下の振動数帯で充填部と未充填部とを判定する ためのしきい値を厳格に定めることは困難と考 えられた.また、打音波形の振幅やスペクトル 振幅について、未充填部は充填部よりも明らか



に振幅が大きいこと¹⁾を確認したが、これらの 振幅は、打撃の方法や波形の採取方法によって 異なるため、判定指標とすることは避けるべき と考えている.

そこで、室内実験および実物大実験での結果 を踏まえ、打音波形の特性を相対的に評価する ことによって、未充填部の判定基準を以下のよ うに設定した.

鋼板とコンクリートが確実に接触している場 合は、マッシブなコンクリート単体の振動特性 が打音波形に現れると考えられる.このことか ら、判定基準は14~16kHzの振動数帯に目立っ たピークのある場合を充填部,ない場合を未充 填部とすることが合理的であると考えた.

しかし,図-7に示したように、14~16kHzに 明確なピークを示している波形でも、そのスペ クトル振幅は、5kHz以下の低振動数帯でのスペ クトル振幅よりも小さい場合がある.この場合、 スペクトル振幅のみで単純に卓越振動数を決定 すると、未充填部として判定してしまう可能性 がある.したがって、本実験での判定基準は『ス ペクトル振幅について、14~16kHzの振動数帯 に目立ったピークがあり、その振幅が0.2Vm・ sec以上ある場合を充填部、そうでない場合を未 充填部』と設定した.

4. 実物大模型での打音波形

4.1 検査点での判定結果

鋼殻内へのコンクリート充填終了から10日後,



50cm程度の間隔で設定した各計測点において 打音検査を行い,前章で設定した判定基準に従って,充填部および未充填部を判定した.計測 した波形の代表的なものを図-9~11に示す.

卓越振動数について,充填部と判定した波形 では、マッシブなコンクリートの振動特性と同 様に15kHz付近でピークが確認できた.しかし, 15kHz付近にピークを持ち充填部と判定される 場合でも、2.4kHz以下に卓越振動数が生じる場 合があった.一方,未充填部と判定した波形は 15kHz付近でのピークはなく,鋼板単体の結果 と同様に5kHz以下でピークが認められた.

振動の継続時間は,充填部は2.6msec,未充填 部は14.1msecであった.

4.2 判定結果の考察

供試体の寸法に拠らず,充填部とみなせる箇 所での打音波形には,15kHz付近にピークを持 つ振動特性が認められ(図-7,9,10),この振動



特性はマッシブなコンクリートにも確認された (図-5).また、15kHzにピークを持つ振動特 性は、未充填部とみなせる箇所には確認されな かったことから(図-6,8,11)、検査機器の特性 ではないと考えられる.したがって、この振動 特性は、本実験の供試体程度以上の寸法を持つ コンクリートブロックに特有のものと考える.

また,実物大の実験では,数kHz程度の振動 数帯での卓越によって充填性の判断を行うこと は困難であり,15kHzのピークの有無を判定基 準とすることで充填部と未充填部の識別が可能 と考える.

5. 打音検査によって判定した未充填部

5.1 実際の充填状況との比較

未充填部と判定された検査点周辺で,さらに 打音検査を行い,設定基準によって未充填部の 範囲を特定した.結果を図-12に示す.打音検査 からは,打設孔から離れた鋼板端部で,L型鋼 によって充填されにくいと想像される箇所に, 未充填部があると判定された.

打音検査終了後,供試体表面の鋼板を剥がし, 実際の充填状況を調査した.充填状況の一部分 を図-13に示す.未充填部の目立ったものとして は,供試体端部の型鋼周辺に幅2cm,長さ15cm 程度のものだけであった.その他には目立った 未充填部はなく,直径1cm程度以下のあばたの ようなものだけであった.実際の未充填部の状 況は,打音検査によって抽出したものとは大き



図-12 特定した未充填範囲(-部) 図-13 コンクリート表面の充填状況(-部)

図-14 アクリル板の位置

く異なるものであった.

5.2 コンクリートと鋼板のはく離による影響 はく離による影響を考察する前に、 内部の充 填状況を確認しながら打音検査を実施できる箇 所(図-14に示す供試体側面のアクリル板の箇 所) での打音検査結果について考察する.

アクリル板の箇所では,アクリル板にコンク リートが接している箇所と, 接していない箇所 とを目視によって明確に判断できたため、それ らの箇所で打音波形を採取した.図-15に採取状 況を示す(これらの点をACR-1,2,3と称す).

ACR-1では、コンクリートの表面は白っぽく乾 燥しており、アクリル板とは接していないよう に見える.一方,ACR-3では、アクリル板内側 のコンクリートの表面が黒っぽく湿潤している ように見え、コンクリート面とアクリル板とは 接しているように見える. ACR-2はそれらの境 界の位置である.各測点で採取した打音波形を, 図-16~18に示す.

ACR-1(非接触部)では、未充填箇所と同様 に、5kHz以下でのスペクトル振幅が大きく、14 ~16kHzにピークは認められなかった.一方, ACR-3 (接触部) では、5kHz以下でのスペクト ル振幅はACR-1と比較して小さく、15kHz程度 で明確なピークが確認できた.ACR-2(境界部) では、5kHz以下でのスペクトル振幅はさほど大 きくなく、14~16kHzでわずかなピークが存在 し、ACR-1とACR-3の中間の振動特性を示した. なお,波形採取時の打音は耳で聴いても明らか に異なり、ACR-1では低い濁音、ACR-3では高



図-15 アクリル板の箇所の波形採取状況

い清音が聴き取れた.

つまり,アクリル板の箇所においても鋼板の 場合と同様に、コンクリートがアクリル板に接 していると見られる位置では14~16kHzの振動 数帯にピークがあり,接していないと見られる 位置では同じ振動数帯でのピークは認められな かった. ACR-1~ACR-3の位置は, 打設孔近傍 の鉛直面であり、また、アクリル板内部のコン クリートは平面を保持したままであることから, コンクリート打設時には確実に充填されていた ことは間違いないであろう.しかしながら.図 -16~18に示したような打音波形に差が生じた のは、コンクリートの硬化に伴う収縮が原因で あると考えざるを得ない.

5.3 考察

これまでの結果を踏まえると、検出した未充 填部の意味について,以下のことが考察される.

打音検査では、鋼板端部に未充填部を検出し, 鋼板とコンクリートの間には、比較的広い範囲 で隙間が存在していると判定した. しかし一方 で、鋼板を剥がして行われた検査では、打音検



査で判定したような大きな未充填部は確認され ず,ほとんどの部分でコンクリートは平面を保 っていた.コンクリート打設時には,ほぼ確実 に充填されていたと判定できる結果であった. したがって,打音検査で検出した未充填部とは, そのほとんどがコンクリート硬化時の収縮等に 伴ってできたわずかな隙間である.打音検査法 では,鋼板とコンクリートとの間に,鋼板がわ ずかでも自由振動できるだけの隙間があれば, 低い濁音が採取されてしまい,コンクリート打 設時の未充填部と,コンクリート硬化時の収縮 による隙間とを識別することは難しいと考える.

6. まとめ

打音検査法による合成部材でのコンクリート 充填検査の判定基準と適用性を,実物大の供試 体を用いた実験によって検討した.以下に結論 を示す.

- マッシブなコンクリートでの打音波形は、14 ~16kHzの振動数帯に明らかなピークを持つ ことが判った.
- 充填性の判定基準について、今回14~16kHz の振動数帯にピークを持つものを充填部とし、 ピークを持たないものを未充填部として判定 することが合理的である。
- 3) 打音検査では、鋼板とコンクリートのわずか な隙間も検出し、コンクリート硬化時の収縮 も未充填部として判定するので注意が必要で あり、深さを検出する検査法との併用が不可 欠である。

なお、本研究は、国土交通省国土技術政策総 合研究所、(独)港湾空港技術研究所、早稲田大 学理工学部清宮研究室、(財)沿岸開発技術研究 センター、五洋建設(株)、佐伯建設工業(株)、 東亜建設工業(株)、東洋建設(株)、若築建設(株) による共同研究の一環として実施した.

参考文献

- 壹岐直之,清宮理,星野聡志,越村幸直:合成 部材での未充填部の打音法検査,コンクリート工 学年次論文報告集,Vol.23,No.1,pp.595~600, 2001.7
- 2) 魚本健人, 伊東良浩: 打音法によるコンクリートの非破壊検査, コンクリート工学論文集, Vol.7, No.1, pp.143~152, 1996
- 清宮理,押山宏晃,北澤壮介,坂井直人,佐野 清史:打音法による合成部材の未充填部の空洞検 査,第55回土木学会年次学術講演会,VI-130, 2000.9
- 4) 高橋秀樹,西田徳行,園山哲夫,城代高明:サンドイッチ構造施工実験における高流動コンクリートの充填性とその検査方法,土木学会論文集, No.651/VI-47, pp.11~26, 2000.6