

振動を伝達する埋設鋼材を用いたコンクリートの締固め方法

Method of Compacting Fresh Concrete Using Embedded Steel Material Transmitting Vibration

川崎 文義 永井 勇輔
取違 剛 林 大介

要 約

RC 構造物のコンクリート締固め作業は、一般に棒状バイブレータを用いて行われるが、型枠形状によっては締固めが困難となる箇所や、壁や柱の施工で締固め作業高さが高く、下層のコンクリートへのバイブレータの挿入状況の視認が困難な箇所では、適切な締固めが行われない場合がある。これらは、未充填や豆板などの初期欠陥発生の原因の一つとなっている。そこで、予め型枠内に振動を伝達する鋼材（以下、埋設鋼材）を設置し、これを加振することでコンクリートを締め固める方法について検討を行っている。本報告では、市販の軽量形鋼を埋設鋼材として用い、鋼材形状と締固め有効範囲の関係について、その傾向を明らかにした。また、本方法で締め固めたコンクリート部材の圧縮強度及び鉄筋の付着強度は、棒状バイブレータで締め固めたものと、同等以上となることを室内実験で確認した。さらに、ハンチ部を有する擁壁構造物と高さ 4.0m の壁構造物に実適用した結果、棒状バイブレータで入念に締め固めた箇所と同等の充填性及びコンクリートの品質が得られ、本締固め方法の効果を実証した。

目 次

- I. はじめに
- II. 埋設鋼材を用いた締固め方法
- III. 締固め性能
- IV. 実構造物への適用
- V. まとめ

I. はじめに

土木構造物の施工におけるコンクリートの締固め作業は、一般に棒状バイブレータを用いて行われる。しかし、部材の形状によっては、棒状バイブレータの挿入が困難で、締固めが不能となる箇所が生じるケースがある。また、壁や柱のように締固め作業高さが高い場合は、下層のコンクリートへの棒状バイブレータの挿入状況の視認が困難となり、適切な締固めが行われないケースもある。これらは、未充填や豆板などの初期欠陥を発生させる大きな要因の一つとなっている。かぶり部のように型枠に近い箇所では、型枠バイブレータを併用することでコンクリートの充填性を高めることができるが、その他の箇所では、型枠内に人が入って締固めを行うなどの対策がとられているのが現状である。これは明らかに苦渋作業であるとともに、初期欠陥発生リスクを無くすものではない。そこで、このような場合における締固めの確実

性向上を目的として、型枠内に予め振動を伝達する鋼材（以下、埋設鋼材）を設置しておき、埋設鋼材を介してコンクリートを締め固める方法について検討を行っている。

本報告では、埋設鋼材を用いた締固め方法の概要について述べた後、本締固め方法の締固め有効範囲とコンクリート部材の品質に与える影響に関する検討結果について報告する。さらに、ハンチ部を有する擁壁構造物と、高さ 4.0m の壁構造物に実適用し、効果の検証を行った結果を報告する。

II. 埋設鋼材を用いた締固め方法

埋設鋼材を用いたコンクリートの締固め方法の概要を Fig.1 に示す。本締固め方法の手順は、まず、締め固めようとする部材の所定の位置に棒状の鋼材（埋設鋼材）を設置する。

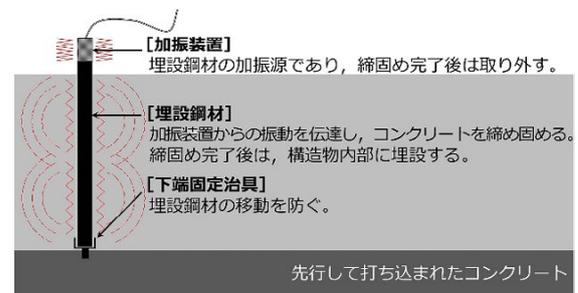


Fig.1 埋設鋼材を用いた締固め方法
(Compaction Method Using Embedded Steel Material)

キーワード：締固め，生産性向上，省人化

Keywords : compaction, productivity improvement, labor saving

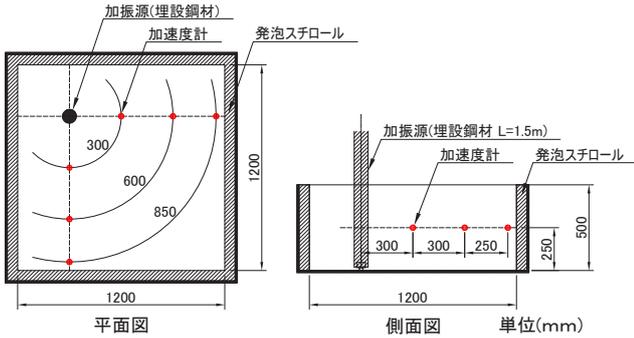


Fig.2 供試体寸法と加速度計設置位置 (Specimen Size and Accelerometer Setting Position)

次に、埋設鋼材の上端部に加振装置を固定し、コンクリート打込み時にこれを作動させ、埋設鋼材を介してコンクリートの締固めを行う。締固め完了後、加振装置を取り外し、埋設鋼材はそのまま構造物内に残置する。

埋設鋼材の材料には、コンクリートに振動を伝達できる適度な剛性と、設置時の施工性を考慮した軽さ、構造物内に埋設しても品質に影響がない素材及び経済性が求められる。本検討では、数種類の市販の軽量形鋼の締固め性能を確認し、埋設鋼材として選定した。加振装置には、汎用性を考慮し、市販のφ60mmの棒状バイブレータを用いた。

Ⅲ. 締固め性能

1. 締固め有効範囲

(1) 実験概要

断面形状の異なる数種類の軽量形鋼でコンクリートを加振し、各鋼材の締固め性能を評価した。加振源となる鋼材から300～850mmの位置で加振時にコンクリートに伝達される振動加速度を計測した。既往の文献¹⁾から、コンクリートの締固めに有効な最小加速度として1.5Gが与えられており、本実験ではこれを参考に、コンクリート中に伝達される振動加速度の平均値が1.5G以上となる範囲を締固め有効範囲として計測結果を整理した。

実験方法は、Fig.2に示す寸法の型枠にコンクリートを打ち込み、鋼材を15秒加振し、加速度計を用いて振動加速度を計測した。鋼材の長さは1.5mとし、上端部にφ60mm棒状バイブレータを固定した。振動加速度の計測には挿入式の加速度センサープローブ²⁾を用いた。加速度計の設置状況と実験状況をPhoto 1～2に示す。

実験条件の一覧をTable 1に示す。鋼材は、リップ溝形鋼3種類、軽量溝形鋼1種類、軽量H形鋼1種類とした。Table 2にコンクリートの配合を示す。コンクリートの目標スランブは、12.0±2.5cmと18.0±2.5cmの2種類とし、それぞれ目標値を満足したものを使用した。

(2) 実験結果と考察

コンクリート中に伝達された振動加速度と加振源からの距離の関係の例として、幅150mmのリップ溝形鋼でスラン

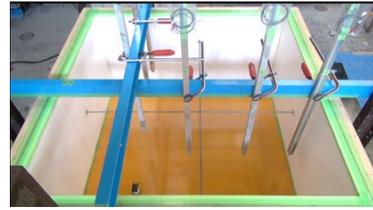


Photo 1 加速度センサープローブ取り付け状況 (Acceleration Sensor Probe Installation Status)



Photo 2 実験状況 (Situation of Experiment)

Table 1 実験条件一覧 (List of Experimental Conditions)

形状	鋼材の種類				コンクリートのスランブ	
	寸法 (mm)	質量 (kg/m)	断面2次モーメント (cm ⁴)		12cm	18cm
			強軸	弱軸		
リップ溝形鋼	100×50×20 t 3.2	5.5	107	24	○	-
	120×60×20 t 3.2	6.5	186	41	○	○
	150×50×20 t 3.2	8.3	375	84	○	○
軽量溝形鋼	120×40 t 3.2	4.8	122	8	○	-
軽量H形鋼	150×75 t 3.2	8.8	432	32	○	-

Table 2 コンクリート配合 (Mix Proportions)

呼び方	W/C (%)	SL (cm)	Air (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
					W	C	S	G
27-12-20N	56.3	12.0±2.5	4.5±1.5	45.4	173	308	809	999
27-18-20N	57.1	18.0±2.5	4.5±1.5	49.8	170	298	894	926

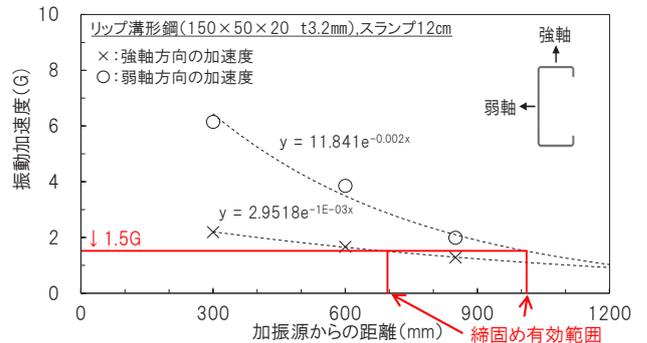


Fig.3 コンクリート中の加速度計測結果の例 (Example of Measurement Result of Acceleration in Concrete)

ブ12cmのコンクリートを加振したケースの試験結果をFig.3に示す。加振源からの距離が遠くなるにつれて、振動加速度が減衰した。また、リップ溝形鋼の向きによって減衰の程度が大きく異なり、強軸方向の振動加速度は弱軸方向に比べて

小さい値を示した。これは、強軸方向のコンクリートに接する面が弱軸方向より小さいことに加え、曲げ剛性が大きいいため、加振時の振幅が小さくなり、コンクリートに伝達される振動も小さくなったものと推察される。この傾向は、他の鋼材でも同じであった。

締めめ有効範囲は、図に加速度の近似曲線を描き、振動加速度が 1.5G となる加振源からの距離として、各鋼材の強軸方向、弱軸方向でそれぞれ算出した。Fig.4 にスランプ 12cm のコンクリートに対する各鋼材の締めめ有効範囲を示す。全てのケースにおいて、締めめ有効範囲は 500 mm 以上であった。単位質量の大きい鋼材ほど、締めめ有効範囲が大きくなる傾向があり、各鋼材の強軸方向と弱軸方向の平均値は、幅 150mm のリップ溝形鋼が最大で、次いで軽量 H 形鋼が大きな値を示した。ただし、本実験では、各鋼材の板厚が一定のため、単位質量の大きさは、鋼材断面の大きさと比例関係にあることから、この影響も考えられる。

幅 150mm のリップ溝形鋼と軽量 H 形鋼を比較すると、弱軸方向の締めめ有効範囲は同程度であるが、強軸方向は、軽量 H 形鋼の方が 30%程度小さい値であった。これは、軽量 H 形鋼の強軸方向の剛性が幅 150mm のリップ溝形鋼より大きいため、加振時の振幅が小さくなったことによるものと推察される。軽溝形鋼については、弱軸方向に比べて強軸方向の値が約 30%小さいが、Table 1 より、強軸方向の剛性は他の鋼材と比較して大きくないため、コンクリートと接する面が小さいことの影響が大きいと推察される。鋼材の形状と締めめ有効範囲の関係については、今後、詳細な検討が必要であるが、本実験の範囲では、弱軸方向と強軸方向で、締めめ有効範囲の差が小さいリップ溝形鋼が埋設鋼材に適していると考察された。

Fig.5 に、締めめ有効範囲とスランプの関係を示す。同じ鋼材を用いて加振した場合の締めめ有効範囲は、スランプ 18cm の方が 12cm に比べて大きい値を示した。コンクリートのスランプが大きくなるほど、振動の減衰が小さくなるものと推察される。

2. コンクリートの品質

(1) 実験概要

壁や柱のコンクリート施工では、打込みの 1 層の高さを 500mm 程度として層状に打ち重ねていき、各層ごとに棒状バイブレータで締めめが行われる。一方、埋設鋼材を用いた締めめは、Fig.1 に示すとおり、部材の高さ方向に連続して鋼材が配置されるため、上層のコンクリート締めめのたびに下層のコンクリートにも振動が伝達することが考えられる。既に硬化が始まったコンクリートに再振動を行うと、コンクリートの損傷あるいは鉄筋との付着が低下するおそれがあることから、埋設鋼材を用いた締めめ方法が、コンクリート部材の品質に与える影響について室内実験で検証することとした。

実験は、Fig.6 に示す形状・寸法の型枠を製作し、図に示す

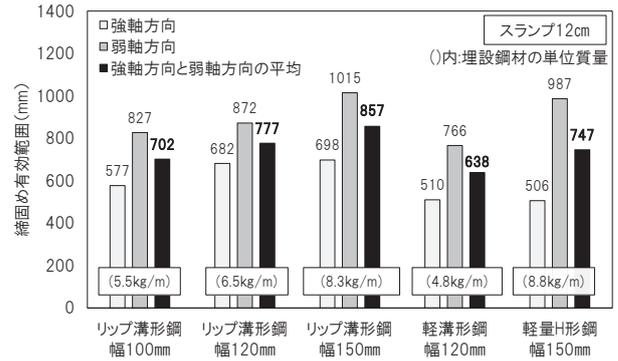


Fig. 4 各鋼材の締めめ有効範囲 (Effective Compaction Range of Each Steel Material)

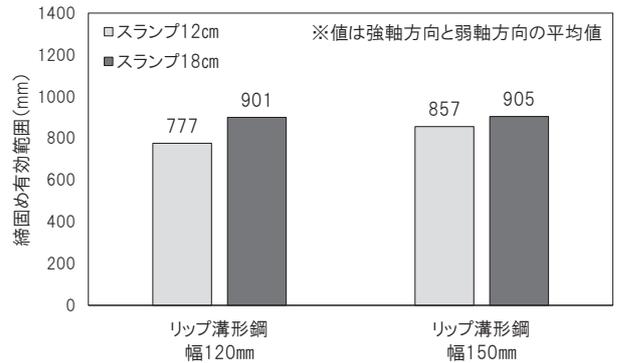


Fig. 5 締めめ有効範囲とスランプの関係 (Relationship Between Effective Compaction Range and Slump)

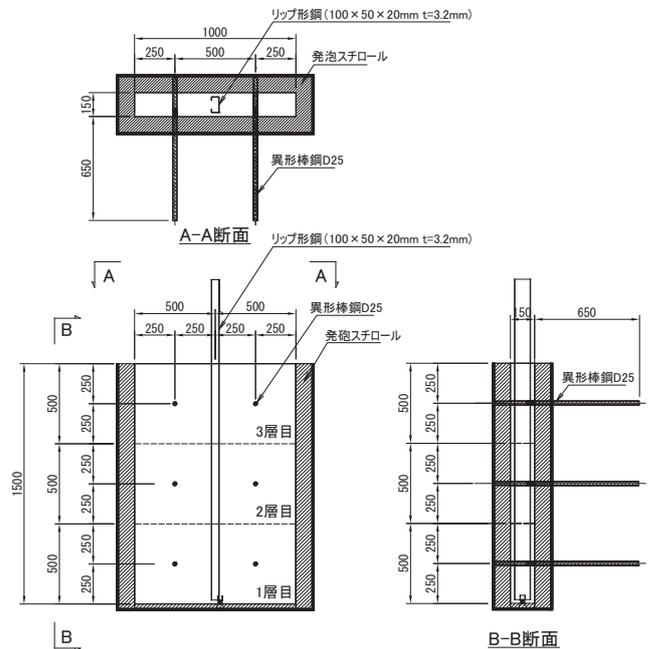


Fig. 6 供試体の形状と寸法 (Shape and Dimensions of Specimen)

位置に D25 の異形棒鋼を水平に設置した。型枠に、目標スランプ 12±2.5cm のコンクリートを 1 層の高さ 500mm で 3 層に分けて打ち込み、各層ごとに加振を行った。コンクリートの配合を Table 3 に示す。コンクリートは、各層ごとに練り

Table 3 コンクリートの配合
(Mix Proportions)

呼び方	W/C (%)	SL (cm)	Air (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)			
					W	C	S	G
24-12-20N	58.1	12.0±2.5	4.5±1.5	45.9	172	297	822	996

Table 4 実験条件一覧
(List of Experimental Conditions)

加振方法	各層の加振回数(回)	各層の加振回数(回)		
		1層目	2層目	3層目
φ50mm棒状パイプレタ	各層打込み後1回	2*	2*	1
リップ溝形鋼 (100×50×20 t3.2)	各層打込み後1回	3	2	1
リップ溝形鋼 (100×50×20 t3.2)	各層打込み後1回+追加3回	6	5	4

*上層のコンクリート加振時、下層にパイプレタを10cm挿入するため加振回数(は2回とした。

Table 5 試験項目
(Measurement Item)

試験項目	試験材齢	試験方法
ブリーディング試験	-	JIS A 1123に準拠
凝結試験	-	JIS A 1147に準拠
コンクリート内部の損傷観察	-	切断面の埋設鋼材近傍の変状を目視観察
圧縮強度試験	14日	JIS A 1108に準拠
鉄筋の付着強度試験	14日	JSCE-G 503に準拠し、引抜き試験を実施

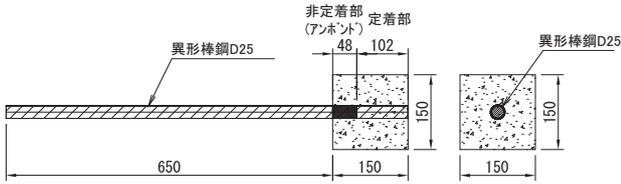


Fig.7 引抜き試験用の試験体 (JSCE-G 503-2013)
(Specimen for Pull-out Test)

混ぜたレディーミクストコンクリートを使用し、スランプ及び空気量が目標値を満足したものを使用した。埋設鋼材は、長さ 2.0m、幅 100mm のリップ溝形鋼 (100×50×20mm, t=3.2mm)を使用し、上端部に φ60mm の棒状パイプレタを固定して加振を行った。振動時間は各層 15 秒とし、打重ね時間間隔は 1 時間とした。

実験条件の一覧を Table 4 に示す。埋設鋼材を用いて各層 1 回ずつ加振した供試体のほかに、打重ね回数が 3 層以上となる部材の加振条件を模擬したケースとして、3 層目の加振後、1 時間おきに追加で 3 回 (計 6 回) 加振した供試体を作製した。また、φ50mm の棒状パイプレタを用いてコンクリート標準示方書 [施工編] 3) に準じて締固めを行った供試体を作製し、比較を行った。

試験項目を Table 5 に示す。ブリーディング試験と凝結試験は、コンクリート打込み時に試料を採取し、供試体と同一環境で試験を行った。コンクリート内部の損傷観察は、コンクリート硬化後、加振回数が最も多い 1 層目の中心位置で供試体を切断し、埋設鋼材近傍のコンクリートの状態を目視観

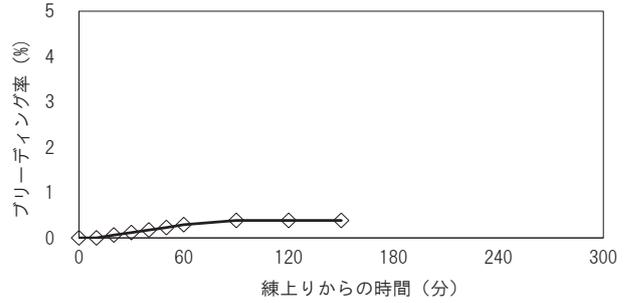


Fig.8 ブリーディング率
(Bleeding Ratio)

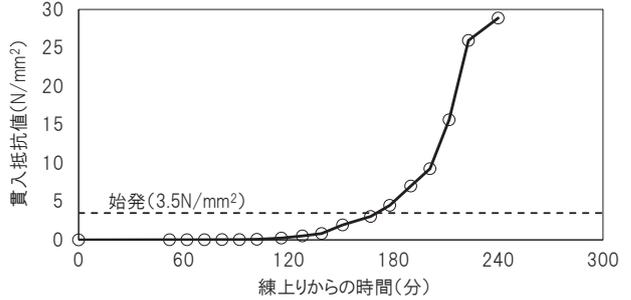


Fig.9 貫入抵抗値
(Penetration Resistance)

察した。圧縮強度は、コンクリート硬化後、1 層目と 3 層目から φ100×200mm のコアを採取し、JIS A 1108 に準拠して圧縮強度試験を行った。鉄筋の付着強度は、供試体から Fig.7 に示す試験体を切り出し、JSCE-G503-2013 に準拠して試験を行い、以下の式を用いて付着強度を求めた。なお、圧縮強度試験及び付着強度試験は、コンクリートの材齢 14 日で試験を行った。

$$\tau = \frac{P}{4\pi D^2}$$

ここに、 τ : 付着強度 (N/mm²)
P: 最大引張荷重 (N)
D: 鉄筋の直径 (mm)

(2) 実験結果

(a)ブリーディング試験及び凝結試験

練上がりからの時間とブリーディング率の関係を Fig.8 に示す。試験で使用したコンクリートのブリーディング率は 0.4%であり、標準的な値⁴⁾より少ない結果となった。実験は、外気温が 30℃を超える夏季に実施したため、水和反応の速度が早まったことでブリーディングが抑制されたものと推察される。練上がりからの時間と貫入抵抗値の関係を Fig.9 に示す。始発時間は、練上がりから 170 分後であった。試験結果は、1 層目のコンクリートのものであるが、2 層目、3 層目もコンクリートの配合及び環境温度が同じであり、凝結特性は大きく変わらないと考えられる。そこで、この試験結果を用いて各層ごとの加振時の貫入抵抗値を算出し、Table 6 に整理した。表より、3 層目加振時において、1 層目のコンクリートの貫入抵抗値は、1.5N/mm²となっており、コンクリート

の硬化が進んでいる状態であった。また、追加加振を行った供試体は、追加加振1回目の時点で1層目のコンクリートが始発時間を過ぎており（貫入抵抗値 3.5N/mm²以上）、2層目のコンクリートも硬化が進んでいる状態であった。

(b) 材料分離

本実験で最も加振回数が多い、追加加振を行ったケースの1層目の切断面を Photo 3 に示す。写真より、埋設鋼材近傍において、コンクリートの損傷などの変状は生じていなかった。他の試験ケースにおいても同様の結果であった。

(c) 圧縮強度

圧縮強度試験の結果を Fig.10 に示す。1層目から採取したコアの圧縮強度は、加振回数に問わず、全てのケースで同程度の値となった。1層目のコンクリートは、Table 6 に示すとおり、3層目の加振時点で既に硬化が進んでいることから、本実験の範囲において、下層の硬化し始めたコンクリートを複数回加振しても、圧縮強度の低下にはつながらないことが実証された。一方で、既往の文献⁹⁾では、再振動締固めによる強度増進効果が報告されているが、上記と同じ理由で、3層目（3回目）の以降の加振は、コンクリートの締固めに寄与しなかったものと推察される。

3層目から採取したコアの圧縮強度は、追加加振を行ったケースが、他の2ケースに比べて15%程度大きい結果となった。Table 5 から、3層目に打ち込まれたコンクリートは、追加加振が行われた時点で硬化が進んでおらず、埋設鋼材による加振が再振動締固めとして作用し、圧縮強度が増進したものと考えられる。

(d) 鉄筋の付着強度

鉄筋の付着強度試験結果を Fig.11 に示す。1層目の付着強度は、全ての供試体で同等の値となった。これは、前述の1層目の圧縮強度試験の結果と同様の理由と考えられる。次に、3層目の試験結果をみると、追加加振を行ったケースの付着強度は、棒状バイブレータで締め固めたケースより約10%向上した。これについても、前述した3層目の圧縮強度試験の結果と同様に、埋設鋼材による追加加振が再振動締固めとして作用し、鉄筋周囲の空隙や水みちが減少したことで付着強度が向上したものと考えられる。以上より、本実験の範囲において、埋設鋼材を用いて硬化し始めたコンクリートを複数回加振しても、鉄筋の付着強度は低下しないことが実証された。

一方で、埋設鋼材で各層1回ずつ加振したケースの2層目、3層目の付着強度は、棒状バイブレータで締め固めたケースより小さい値を示した。両ケースの加振回数は同じであることから、2層目以降の埋設鋼材による加振の程度が棒状バイブレータより小さくなった可能性が考えられるが、Fig.10 に示すとおり圧縮強度は、同等の値が得られている。この理由については、今後、詳細な検討が必要である。

IV. 実構造物への適用

埋設鋼材を用いた締固め方法を、ハンチ部を有する無筋の擁壁構造物と、高さ 4.0m（幅 0.5m）の壁構造物に実適用し

Table 6 各加振時における貫入抵抗値 (Penetration Resistance at Each Vibration)

	貫入抵抗値 (N/mm ²)					
	1層目 加振時	2層目 加振時	3層目 加振時	追加加振を行ったケースのみ		
				1回目 追加加振時	2回目 追加加振時	3回目 追加加振時
3層目に打ち込まれたコンクリート	-	-	0.0	0.0	2.8	3.5以上
2層目に打ち込まれたコンクリート	-	0.0	0.0	2.7	3.5以上	3.5以上
1層目に打ち込まれたコンクリート	0.0	0.0	1.5	3.5以上	3.5以上	3.5以上



Photo 3 供試体切断面 (Cutting Surface of Specimen)

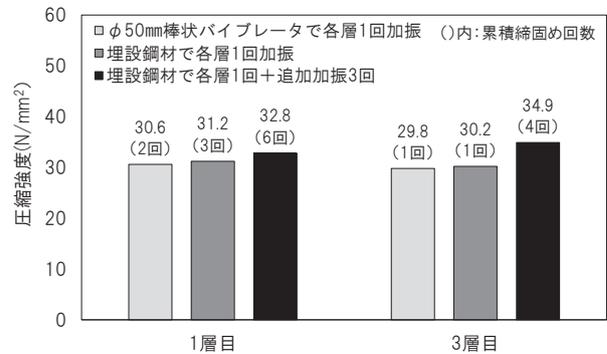


Fig.10 コアの圧縮強度 (Compressive Strength of Core)

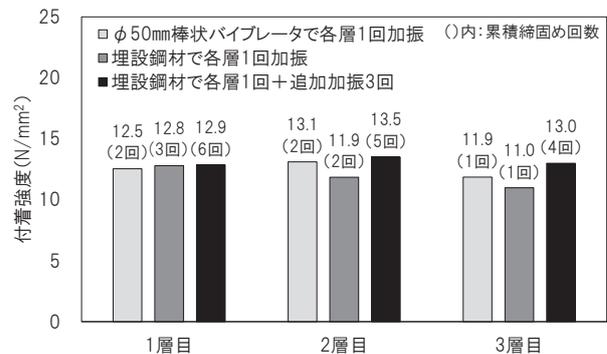


Fig.11 鉄筋の付着強度 (Bond Strength of Rebar)

た。前者のハンチ部は、棒状バイブレータでは締め固めにくく、後者の壁構造物の下層コンクリートは、コンクリートと棒状バイブレータの接触状況の視認が困難であり、いずれも締め固めの確実性に課題がある箇所である。両箇所に埋設鋼材を用いた締固め方法を適用し、充填性およびコンクリート品質の計測を行った。

1. ハンチ部を有する擁壁構造物への適用

(1) 適用の概要

擁壁構造物の形状・寸法を Fig.12 に示す。擁壁の高さは約

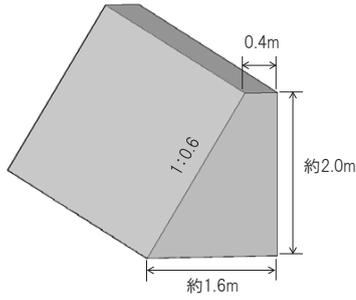


Fig.12 擁壁構造物の形状・寸法
(Shape and Dimensions of Retaining Wall)

Table 7 コンクリート配合
(Mix Proportions)

呼び方	W/C (%)	SL (cm)	Air (%)	s/a (%)	単用量(kg/m ³)			
					W	C	S	G
21-8-20BB	61.0	8.0±2.5	4.5±1.5	46.0	167	274	412	1018

2.0mで、片方の壁面が6分勾配のハンチとなっている。使用した埋設鋼材は、室内実験の結果と設置時の施工性を考慮し、幅120mmのリップ溝形鋼(120×60×20 t=3.2mm)とした。加振装置は、φ60mmの棒状パイプレータを用いた。使用したコンクリートの配合をTable 7に示す。コンクリートのスランプの目標値は8.0±2.5cmであり、目標値を満足したものを使用した。

埋設鋼材の設置状況をFig.13に示す。ハンチ側及び鉛直側の型枠に沿った2本のリップ溝形鋼をボルトで接続し、1体の埋設鋼材とした。また、一体性を高めるため、水平方向に等辺山形鋼を追加した。型枠と埋設鋼材の離隔は、ハンチ部は400mm、鉛直部は、270mmとした。壁の延長方向に対する埋設鋼材の設置間隔は、Fig.4を参考に600mmとし、擁壁の延長約1.2mの範囲に埋設鋼材を2本設置した。コンクリートの打込みは4層に分けて行い、1層目から3層目までを埋設鋼材のみで締め固めた。なお、締め固め状況が目視確認できるように、ハンチ部の型枠には、アクリル板を用いた。コンクリート硬化後、目視観察による充填性の確認、テストハンマによる反発度及びダブルチャンパ方式のトレント試験機による透気係数の計測を行った。反発度及び透気係数の測定位置は、構造物下端から高さ方向に250mm(1層目)、750mm(2層目)の2か所とした。計測は材齢120日で実施し、試験結果は、φ50mmの棒状パイプレータで型枠の内側に人が入って入念に締め固めた箇所と比較を行った。

(2) 計測結果

(a) 充填性

脱型後のコンクリート表面の外観をPhoto 4に示す。埋設鋼材で締め固めた箇所の外観は、棒状パイプレータで締め固めた箇所と同等であり、いずれもハンチの先端までコンクリートが充填されていた。

(b) 反発度及び透気係数

反発度、透気係数の計測結果をそれぞれFig.14, Fig.15に示す。埋設鋼材で締め固めた箇所の反発度は、1層目、2層目ともに、棒状パイプレータで締め固めた箇所と同等の値で



Fig.13 埋設鋼材の設置状況
(Installation of Embedded Steel Materials)

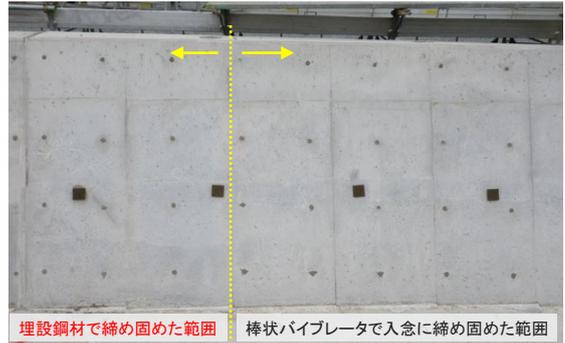


Photo 4 脱型後のコンクリート表面
(Concrete Surface After Demolding)

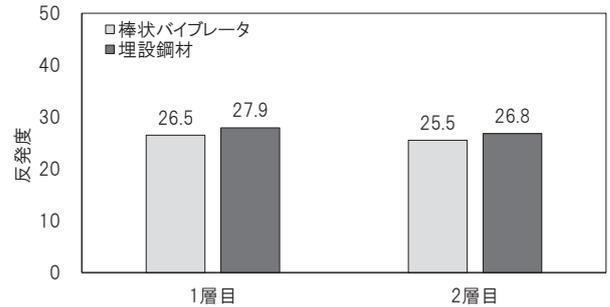


Fig.14 反発度
(Rebound Number)

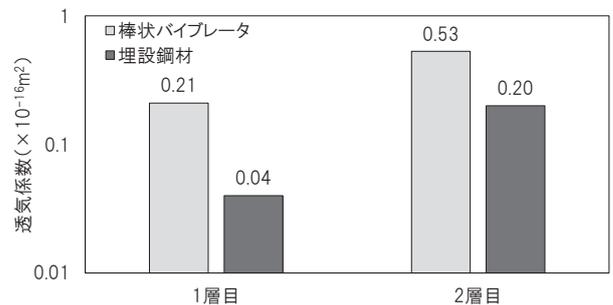


Fig.15 透気係数
(Coefficient of Air Permeability)

あった。透気係数は、埋設鋼材で締め固めた箇所の方が、棒状パイプレータで締め固めた箇所より小さくなり、物質移動抵抗性が向上した。

以上の結果より、埋設鋼材を用いた締め固め方法で、6分勾配のハンチ部のコンクリートを適切に締め固められることが実証された。

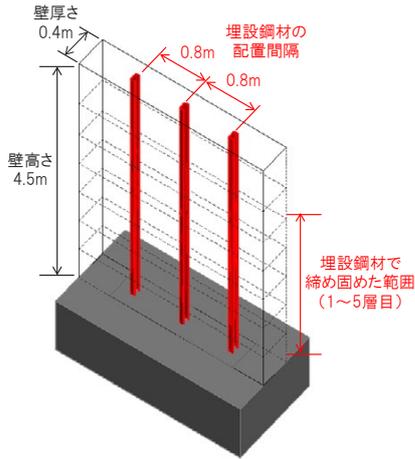


Fig.16 壁構造物の形状・寸法
(Shape and Dimensions of Wall Structures)

Table 8 コンクリートの配合表
(Mix Proportions)

呼び方	W/C (%)	SL (cm)	Air (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)			
					W	C	S	G
24-15-25N	52.0	15.0±2.5	4.5±1.5	41.8	155	299	763	1115

2. 壁構造物への適用

(1) 適用の概要

壁構造物の形状・寸法を Fig.16 に示す。埋設鋼材には、前述の擁壁構造物と同じ幅 120mm のリップ溝形鋼 (120×60×20 t=3.2mm) を使用した。コンクリートの配合を Table 8 に示す。コンクリートのスランプの目標値は 15.0cm であり、目標値を満足したものを使用した。

埋設鋼材は、壁の延長 2.0m の範囲に 800mm 間隔で 3 本配置し、この範囲を埋設鋼材のみで締め固めた。コンクリートの打込みは、7 層に分けて行い、5 層目まで各層ごとに埋設鋼材で締め固めた。各層の打重ね時間間隔は、約 1.5 時間であり、1 層目の打込みから 5 層目の締め固め完了までの経過時間は 6 時間であった。コンクリート硬化後は、外観観察による充填性の確認、テストハンマによる反発度及びトレント試験機による透気係数の計測を行った。計測結果は、棒状バイブレータで入念に締め固めた箇所と比較を行った。

(2) 計測結果

(a) 充填性

埋設鋼材で締め固めた箇所の脱型後のコンクリートの外観を Photo 5 に示す。未充填や豆板などの初期欠陥は生じておらず、下層の型枠際までコンクリートが確実に充填されており、外観は、棒状バイブレータで入念に締め固めた箇所と同等であった。

(b) 反発度及び透気係数

反発度、透気係数の測定結果をそれぞれ Fig.17, Fig.18 に示す。いずれの計測結果も、埋設鋼材で締め固めた箇所と棒状バイブレータで締め固めた箇所の値は同等であった。

以上の結果より、埋設鋼材を用いた締め固め方法で、高さ 4.0m の壁構造物のコンクリートを、適切に締め固められることが実証された。



Photo 5 脱型後の外観
(Concrete Surface After Demolding)

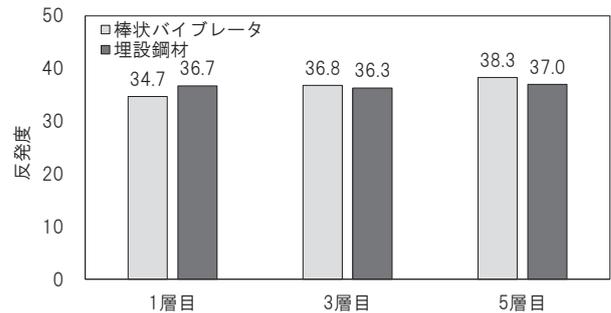


Fig.17 反発度
(Rebound Number)

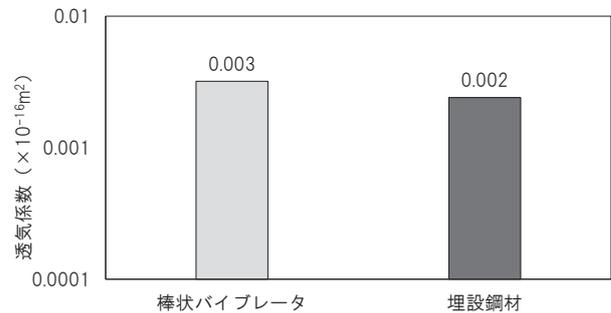


Fig.18 透気係数
(Coefficient of Air Permeability)

V. まとめ

本研究では、振動を伝達する鋼材を介してコンクリートを締め固める方法を提案し、その締め固め性能とコンクリート部材の品質に与える影響について検討した。また、本方法を実構造物に適用し、効果の検証を行い、以下の知見を得た。

- ① コンクリート中に伝達する振動加速度が 1.5G 以上となる範囲を締め固め有効範囲と定義し、スランプ 12cm のコンクリートを埋設鋼材で加振した結果、全ての試験ケースにおいて締め固め有効範囲が 500mm 以上となった。
- ② 埋設鋼材は、断面の向きによって、締め固め有効範囲が異なり、強軸方向より弱軸方向の締め固め有効範囲が広がった。
- ③ 本方法を、層状に打ち重ねて施工される部材に適用した場合、下層コンクリートは上層コンクリートの締め固めのときに加振されることになるが、コンクリートの圧縮強

度及び鉄筋の付着強度は、棒状バイブレータで締め固めた場合と同等以上となった。

- ④ ハンチ部を有する擁壁構造物と、高さ 4.0m の壁構造物に実適用した結果、充填性、反発度及び透気係数は、棒状バイブレータで入念に締め固めた箇所と同等の品質であった。

参考文献

- 1) 村田二郎；フレッシュコンクリートの挙動に関する研究，土木学会論文集，第 378 号/V-6，1987.11，pp.21-33.
- 2) 露木健一郎，林大介，高木英知，横関康祐，曾我部直樹；

加速度計を用いたコンクリート締め固め振動の計測，土木学会第 70 回年次学術講演会，V-221，2015.9，pp.441-442.

- 3) 土木学会；2017 年制定コンクリート標準示方書[施工編]，2018.3，pp.120-122.
- 4) 宇部三菱セメント株式会社；技術資料，p.15.
- 5) 宮田敦典，中田善久，大塚秀三，新妻尚祐；再振動における振動方法の違いとコンクリートの力学的性質に関する一考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.1，2014，pp.1564-1569.

Method of Compacting Fresh Concrete Using Embedded Steel Material Transmitting Vibration

Fumiyoshi Kawasaki, Yusuke Nagai, Takeshi Torichigai and Daisuke Hayashi

In concrete compaction work of RC structures, a rod-type vibrator is generally used. However, there are places where compaction work using the rod-type vibrator is difficult due to the shape of the formwork. Furthermore, in high structures such as walls and pillars, since the contact state between the vibrator and the concrete cannot be observed, good compaction cannot be achieved in some cases. These are major causes of initial defects such as unfilled state and honeycombing in concrete. Therefore, we have investigated the effectiveness of a compacting method in which steel material is installed in the formwork in advance and concrete is compacted through transmitted vibration when the steel material is vibrated. This study clarified the trend of the relationship between the shape of steel material and the effective range of compacting when using lightweight commercially available section steel. In addition, it was confirmed by laboratory experiments that the compressive strength of the concrete compacted by this method and the bond strength of the rebar in concrete compacted by this method were equal to or higher than those of concrete compacting with a rod-type vibrator. Furthermore, this compaction method was applied to a retaining wall with a haunch and a wall structure with a height of 4.0 m. As a result, the compressive strength and the concrete quality of the parts compacted with steel were the same as those that had been carefully compressed with a rod-type vibrator. These results confirmed the effectiveness of our method.