

論文 RM 構法におけるグラウトコンクリートの充填性確認方法に関する研究

長岡 徹^{*1}・古賀一八^{*2}・中岡章郎^{*2}・牧野真之^{*3}

要旨：RM構法におけるグラウトコンクリートの実大打設実験を実施し、グラウトコンクリートの充填性確認のための非破壊検査として打撃音診断法、超音波法及び電磁波レーダ法の試験を実施し、充填不良箇所の判定を試みた。各試験結果の相互比較及びコア抜き試験結果との比較から、不良判定の精度は超音波法、電磁波レーダ法が打撃音診断法に比べ高く評価された。しかしながら、この3方法単独では充填不良箇所を精度良く推定するのは難しく、これらを組合わせて充填性の検査を実施することが望ましいと考える。

キーワード：RM構法、充填性、打撃音診断法、超音波法、電磁波レーダ法

1. はじめに

RM構法は、RMユニットが一種の打込み型枠となる機構であるので、通常の合板型枠のように型枠を取り外してグラウトコンクリートの充填性を目視で確認することができない。したがって、RM構法の施工及び品質管理において、グラウトコンクリートの充填性及びその確認方法は構造耐力上及び防水上、重要である。非破壊でしかも合理的な方法でグラウトコンクリートの充填性を確認する必要がある。一般的にRM構法におけるグラウトコンクリートの充填不良はユニットとグラウトの肌離れ（接着不良）、骨材のアーチ作用による内部空隙の大きく二つに類別される。グラウトコンクリートの施工は、これらの充填不良が無いよう密実に充填することが肝要で、不幸にも充填不良が発生した場合は、いかに効率よく不良箇所を発見し補修するかが施工の省力化のポイントになる。

本研究では、グラウトコンクリートの充填性確認試験として実施工に適し、簡便と思われる3種類の試験を実施し、充填性を非破壊でどの程度確認できるかを明らかにする事を目的とした。

2. グラウトコンクリートの充填性確認試験の概要

2.1 試験体の形状及び種類

試験体の形状及び寸法を図-1に、試験体の配筋を図-2に示す。試験体はL字壁を想定し、長手の壁は開口部を想定した形状とし、設備用スリーブを2ヶ所設け、短手の壁端部にはスパイラル筋を配した実物大である。RMユニットは打込み目地用コンクリートユニットを使用した。RMユニットの一例を図-3に示す。試験体は同一形状のものを3体作成し、表-1のグラウトコンクリートを打設した。RM構法に用いるグラウトコンクリートは流動性が求められるので、流動化コンクリート及び高流動コンクリートを使用した。また、グラウトコンクリートの充填性向上を目的に開発されたRM構造用混和剤の効果を確認するために、その有無により種類を分け

*1 住宅・都市整備公団住宅都市試験研究所（正会員）

*2 （株）長谷工コーポレーション技術研究所（正会員）

*3 前田建設工業（株）技術研究所（正会員）

た。流動化コンクリートはRMユニット毎に逐次充填し、高流動コンクリートは、図-1に示す位置から投入した。打設に際しては、流動化コンクリートは通常とおり棒形振動機

を用い締固め、高流動コンクリートは締固めを行わなかった。

2.2 グラウトコンクリートの品質

グラウトコンクリートの調合を表-2に示す。また、フレッシュコンクリートの性状試験結果及び強度試験結果を表-3に示す。ブリーディング量は全てのコンクリートにおいて $0.05\text{cm}^3/\text{cm}^2$ 以下と殆ど生じないことが確認できた。凝結試験結果に関しては、RM構造用混和剤を混入したコンクリートが始発・終結時間とも遅延する傾向を示した。自由膨張率に関しては、高流動コンクリートに添加するRM構造用混和剤のタイプ選定が難しく、結果としてタイプ選定が適切でなく膨張しなかった。試験体と同じグラウトコンクリートを充填して作成した半裁プリズムによる圧縮強度の結果は、試験体1及び2は計算値に対し実験値が18~20%程度上回ったが、試験体3は計算値を14%下回った。

2.3 充填性の確認試験方法

グラウトコンクリートの充填性の確認試験として打撃音診断法、超音波法、電磁波レーダ法をコンクリート打設の14日後に実施した。その後コア抜きによる確認を行い、コアの充填状況と各々の試

表-1 グラウトコンクリートの種類

	試験体1	試験体2	試験体3
種別	流動化コンクリート	高流動コンクリート	高流動コンクリート
RM構造用混和剤	添加	添加	無添加
棒形振動機の使用	使用	未使用	未使用

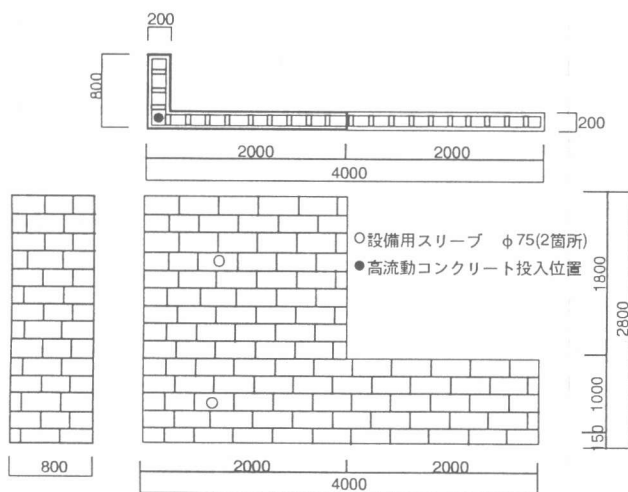


図-1 試験体の形状

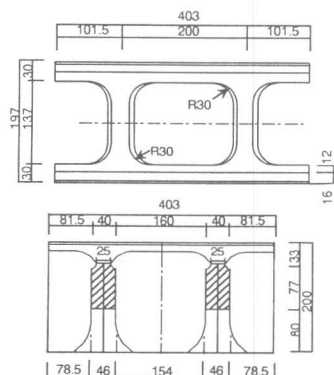


図-3 RMユニットの形状

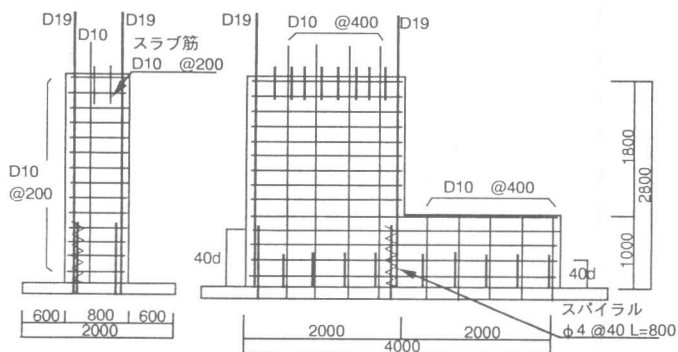


図-2 試験体の配筋

表-2 調合表

	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m ³)	単位重量				AE減水剤 (g/m ³)	流動化剤 (cc/m ³)	高性能AE減水剤 (B/%)	RM構造用混和剤*2 (g/m ³)
				セメント	混和材*1	細骨材	粗骨材				
試験体1	44	49.8	180	410	-	839	869	1025	1466	-	600
試験体2	34	52.5	170	225	275	856	790	-	-	1.75	600
試験体3										1.85	-

*1: 高炉スラグ微粉末 (6000ブレン,比重:2.89) *2: 金属粉系膨張剤

表-3 グラウトコンクリートの試験結果

験結果とを比較した。

(1) 打撃音診断法

一般に溶接検査、タイル剥離検査等に用いるテストハンマーを用いて、検査対象物に打撃を加え、打撃音の音色で浮きや空隙等の欠陥部を診断する方法で行った。RMユニットのフェイスシェルが約30mmなので比較的強めの打撃を加え、試験体の全面を試験した。

(2) 超音波法

RM構造施工指針[2]のRM-004(超音波法による硬化後のグラウト充填性検査方法)に準じて実施した。発振子及び受振子と壁体との接触面はグリースを使用す

る例が多いが、今回は発振子及び受振子に粘着性のある両面テープを張り使用した。測定位置は、曲げ補強筋がある壁体端部、壁体の上部・下部及び腰壁上部とし、過去の経験から充填不良を起こしやすい部位を試験した。また測定点はユニットの中央とした。

(3) 電磁波レーダ法

電磁波レーダ法は、アンテナから発信された電磁波が電気的性質の異なる物質の境界面で反射されるという性質を利用して、コンクリート中の空隙を推定する方法である。今回用いた装置は、コンクリートの浅い部分を高い分解能で探査することを目的としているため、パルス幅が極めて短い約1ナノ秒としている。試験体の端部、下部を主に試験体1は約11.7m、試験体2は約6.4m、試験体3は約11.5m、計約29.6m計測した。

(4) コア抜きによる確認

試験体のグラウトコンクリートの充填性を目視で確認するために、コアボーリングにより試験体のコアを抜いた。コア抜きの位置は、各試験体共通の位置として、袖壁脚部、壁上部、腰壁天端近くの3ヶ所を選定した。袖壁脚部は、鉄筋継手補強のスパイラル筋があるため充填性が不安

		試験体1	試験体2	試験体3	
フレッシュコンクリートの性状	スランプ (cm)	22.5	-	-	
	スラブ厚 (cm×cm)	42.5×41.5	62.5×60.5	67.0×68.5	
	空気量 (%)	5.2	5.5	3.8	
	VF(S)値 (cm)	-	25.0	26.4	
	コンクリート温度(°C)	17.0	15.0	16.0	
	ブリーディング量 (cm ³ /cm ³)	0.050	0.009	0.022	
	凝結時間 (h:m)	始発	14:30	17:26	13:52
		終結	23:20	27:44	22:12
自由膨張率 (%)		3.8	-0.40	-0.47	
圧縮強度	標準養生 (kgf/cm ²)	7日	282	356	457
		28日	415	534	753
	現水養生 (kgf/cm ²)	7日	233	261	335
		28日	373	525	700
プリズム強度 (kgf/cm ²)		335	416	374	

視される箇所であり、その他の2ヶ所は上からのコンクリートの押さえ効果が少なく、同じく不安視される箇所である。各試験体独自の位置としては、(1)~(3)の各試験で何らかの異常を確認された箇所を各試験体4~6ヶ所選定した。コア抜きした試料は、目視で観察した。

3 試験結果

3.1 各確認試験の結果

(1) 打撃音診断法

異音発生位置を図-4に示す。試験体1は、袖壁上部及び下部スリーブ近傍の4ヶ所に異音の発生が見られた。試験体2は、6ヶ所に異音発生が認められた。試験体3は、7ヶ所に異音発生が認められた。

(2) 超音波法

RMユニットの厚さ(197 mm)を超音波伝播時間の測定値で除した超音波伝播速度の測定結果及び判定結果を表-4に示す。判定値は、測定結果が正規分布すると仮定し、既往の測定結果[2]及び度数分布から判断して下側限界 3σ の値とした。充填不良判定箇所を図-4に★印で示した。その結果、試験体1は0ヶ所、試験体2は2ヶ所、試験体3は1ヶ所が充填不良箇所と判定された。

(3) 電磁波レーダ法

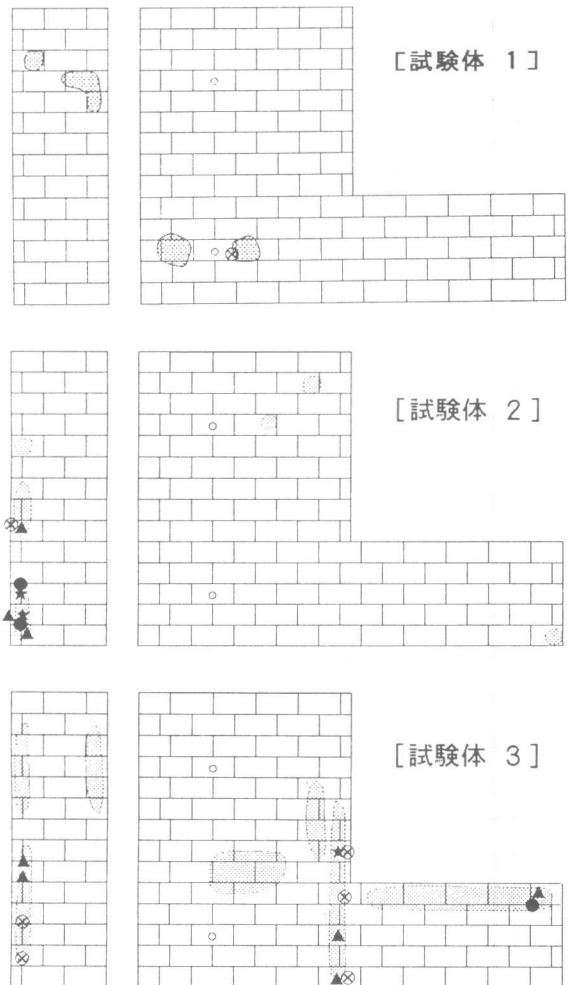
試験体1は、空隙を示す箇所はなかった。試験体2は、空隙が3ヶ所判定された。試験体3は、空隙が4ヶ所及びフェイスシェルとグラウト間の肌離れと思われる空隙が判定された。

(4) コア抜きによる確認

試験体のコア抜きの結果を図-4に示す。試験体1では、打撃音診断で

表-4 超音波伝播速度測定結果

	試験体1	試験体2	試験体3
度数	51	53	51
平均値 (km/s)	3.79	3.72	3.76
標準偏差(km/s)	0.11	0.16	0.16
判定値 (km/s)	3.45	3.23	3.29



- 凡例
- 打撃音診断法による充填不良判定位置
 - ★ 超音波法による充填不良判定位置
 - ▲ 電磁波レーダ法による充填不良判定位置
 - コア抜き確認による充填不良位置
 - ⊗ コア抜き確認による充填良好位置

図-4 充填性確認試験結果

表-5 各試験方法の関連性 (X/Y)

A法	B法	打撃音	電磁波	超音波	コア抜き
打撃音診断法			7/34	3/33	4/13
電磁波レーダ法		7/9		1/7	2/4
超音波法		3/3	1/3		2/3
コア抜き確認		4/5	2/4	2/3	

X/Y = A法で不良判定された位置で、B法で不良判定された箇所数

A法で不良判定された位置で、B法を実施した箇所数

異音認められた設備用スリーブ脇の位置は充填性の異常はなかった。試験体2では、袖壁脚部でグラウトコンクリートの未充填が確認された。続いてすぐ上部のコアを抜いた。こちらも同じような空隙が確認された。この位置は壁脚部の継手補強のスパイラル筋と横筋のフックがあり、鉄筋が幅横している。コンクリートは、そのスパイラル筋と横筋フックに阻まれて充填されなかったものと思われる。一般的には締固め無しで施工される高流動コンクリートでもスパイラル筋が位置する部位は、締固めが必要で

表-6 各試験の重複不良判定結果とコア抜き結果

試験方法	打撃・電波	打撃・音波	電波・音波	打・電・音
A/B	1/4	1/2	0/0	1/1

A : Bのうち、コア抜きで不良が発見された箇所数

B : 各試験で重複不良判定された位置でコア抜きを実施した箇所数

あることがわかった。試験体3では、超音波法で異常が認められた壁端部、電磁波レーダ法で異常が認められた壁最下部ともコアの異常はなかった。打撃音診断法、電磁波レーダ法で異常が認められた腰壁上端部は、グラウトコンクリート内部にひび割れが認められた。

3.2 充填性確認試験の比較

打撃音診断法、超音波法、電磁波レーダ法及びコア抜きによる確認の試験結果の関連性を表-5に示す。ここでの箇所数はユニットのウェブ間を1箇所と数えた。試験箇所数が少ないので表-5に示すX/Yの値が各試験方法の関連性、精度をそのまま示しているとはいえないが、その傾向は推定できる。3方法の試験結果の関連性は超音波法で不良判定された箇所は他の2方法でも不良判定される傾向がみられる。3方法の試験結果とコア抜きによる確認との整合では、表-5の右端列の数値の比較から、電磁波レーダ法と超音波法の精度は打撃音診断法の精度より高い傾向がみられた。充填性確認試験は、充填不良を発見するのが目的であるため犯してはならない過ちは、真の充填不良箇所を見逃すことである。その観点から今回の試験結果を見ると、表-5の最下段の数値から、3方法の試験結果は充填不良を見逃す危険性が少ないことがある程度わかる。また図-4から、コア抜きによる確認で充填不良が確認された箇所は、いずれか複数の試験で不良判定がなされた。確認試験3方法の重複不良判定結果とコア抜きによる確認との比較を表-6に示す。これから、複数の試験で不良判定がなされた場合は、充填不良の可能性がかなりあると推定される。以上のことから、いずれか単独の試験で不良判定されただけで充填不良と判断するのは適当ではなく、複数の試験で不良判定された場合に最終的に充填不良と判断すべきと考えられる。

各試験方法の特徴を比較すると以下ようになる。打撃音診断法の長所は、短時間で面的に診断が行えること、短所はRMユニット表面に打撃を与えて打撃音の高低で充填性を判断する方法なので、判定に熟練を要することと、ユニット表面の密実性によっても打撃音が異なるので充填不良、肌離れ以外の部分を欠陥として判断する機会が多いこと。電磁波レーダ法の長所は、壁面を線的に検査するので手間があまりかからないことと、充填不良の深さ方向の位置が推定できること、短所は判定に専門的習熟が必要なこと。超音波法の長所は、判定の容易さ、精度が比較的高いこと、短所は壁の対面で端子を同一場所に設置しなければならず、壁面を点として検査するので頻度が少なくなることである。

4. まとめ

RM構法におけるグラウトコンクリートの充填性は、グラウトコンクリートの品質管理、打設方法を適切に実施すれば、良好なものとなることがわかった。しかし、締固め無し施工の高流動コンクリートをグラウトコンクリートとして使用した試験体に、縦方向のスパイラル筋の位置する部位で充填不良が発見された。このように条件によっては充填不良が発生することがあり、充填性の確認は不可欠である。充填性確認のための非破壊検査試験として、打撃音診断法、電磁波レーダ法、超音波法を実施した。各試験結果とコア抜きによる確認との整合から、試験箇所数は少ないが各試験方法の判定精度がある程度推定できた。いずれの方法も必要十分な精度を有しているとはいえない。しかし、複数の試験を併用することにより、判定精度は高くなる傾向であった。したがって、実施工における充填性確認方法としては、各試験方法の精度、簡便さ、習熟性等の特徴を考慮し、複数の試験を併用することが充填不良を推定する精度を上げることにつながると思われる。また、充填不良箇所の補修方法は、不良判定箇所にて穴を開け無収縮モルタルを注入するのが一般的である。

参 考 文 献

- 1) アールエム建築推進協議会：RM構造施工指針・同解説、pp136、1994.1
- 2) 西 孝明ほか：RM打込み目地構法のグラウトコンクリートの充填性とプリズム圧縮強度、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp129-130、1993.9