

施工が硬化コンクリートの耐久性に与える影響

古賀裕久・渡辺博志

1. はじめに

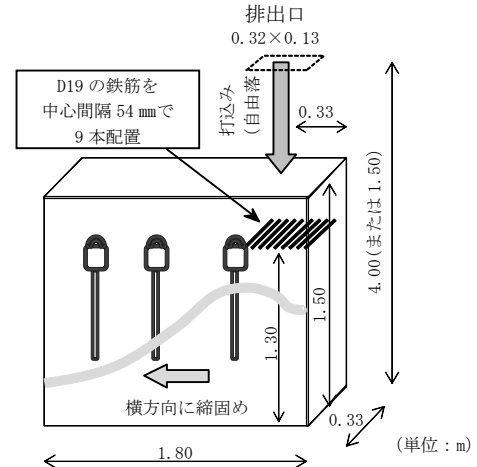
コンクリート構造物の設計・施工に関する基準類では、材料や施工方法が具体的に限定されている場合が多い。一方、近年、コンクリート構造物の耐久性確保について関心が高まっており、耐久性を向上させるために種々の提案がある。提案の中には必ずしも従来の規定の範囲に入らないものもあり、新技術活用のため、必要な性能を確保しつつ、材料や施工方法の自由度を拡大することが求められている。

しかし、特に施工に関しては、従来から経験的に定まっている規定も多く、その範囲に入らない施工を行った場合に、具体的にどのような不具合が生じるか、必ずしも明確ではない。そこで、材料や施工の規定を外れた施工を行った場合どのような影響が生じるか実験を行って検討した。本報では、コンクリートの打込み高さ、打設時の横移動などの影響を検討した結果を紹介する。これらは、既往の調査¹⁾によると、規定を遵守した施工を行うことが必ずしも容易ではないと考えられ、材料・施工方法に関する技術提案があることも予想されるので選定した。

2. 打込み時の衝撃・横移動の影響についての全般的検討

2.1 検討方法

コンクリートの施工においては、材料の分離を防ぐために打ち込み時に衝撃を加えたり、コンクリートを型枠内で横移動させたりすることは禁じられている。ここでは、その悪影響を検討するために、高さ4.0mまたは1.5mの位置からコンクリートを落下させて型枠内に打ち込み、横移動するように締め固めて作製した壁状供試体(図-1)と、同時に一般的な供試体作製方法に従って丁寧に作製した円柱供試体(φ100×200mm)または角柱供試体(150×150×530mm)のコンクリー



※上図は型枠の内寸を示しており、出来上がった供試体の高さは約1mである。材料分離を促進するため、落下したコンクリートが当たる位置に鉄筋を配置した。

図-1 壁状供試体の打設および締め固め方法

表-1 コンクリートの配合及び試験結果(壁状供試体)

W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				s1 (cm)	Air (%)	σ ₂₈ (N/mm ²)
	W	C	S	G			
57.5	185	322	765	986	14.2	4.3	33.8

※普通ポルトランドセメント、掛川産山砂(密度2.57g/cm³、吸水率1.87%、FM 2.81)、笠間産砕石(密度2.67g/cm³、吸水率0.55%)、AE剤を使用した。

トの品質を比較した。なお、土木学会コンクリート標準示方書では、打込み高さ1.5m以下を標準としている。また、型枠内での横移動を禁じている。

配合及び試験結果を表-1に示す。材料分離の影響を受けやすいように、一般的な土木用コンクリートも単位水量、水セメント比がやや大きい配合とした。

壁状供試体は、1週間湿布養生した後に脱型し、その後は、屋内気中で保管した。材齢28日ごろにコアを採取して種々の試験を行った。

2.2 検討結果

圧縮強度試験及び促進中性化試験の結果を図-2に示す。ここでは詳細を略すが、打込み位置と横方向に移動した先でコアを採取した結果、水平方向の位置による違いは明確ではなかった。

壁状供試体は、上部ほど圧縮強度がやや低く、中性化深さがやや大きい傾向があったが、コンク

リートの落下高さの影響は明確ではなかった。材齢28日まで水中養生した標準養生供試体よりもやや強度が低いのは、湿潤養生期間の違いが影響したと考えられる。同様の養生を行った角柱供試体よりもやや中性化深さが大きかった理由は、明確にはできなかった。

次にφ100×150mmのコアを用いて行った凍結融解試験の結果を表-2に示す。打込み高さによって凍結融解に対する抵抗性に顕著な差が見られた。打込み高さ4.0mの壁状供試体から採取した試料はそのほとんどが試験中に破壊した。一方、打ち込み高さ1.5mの供試体では、供試体上部で採取したコアを除き、劣化は概ね抑えられていた。

このように、打込み高さを大きくすると、耐凍害性に悪影響が生じるおそれがあることがわかった。この原因として、耐凍害性の確保等を目的としてフレッシュコンクリートに導入されるエントレインドエア（気泡）の減少が疑われたので、この点について、さらに検討した。

3. 不適切な施工が空気量に及ぼす影響の検討

3.1 検討方法

打込み時の衝撃や横移動によってエントレインドエアがどの程度減少するか検討するため、衝撃や横移動を加えたフレッシュコンクリートから試料を採取して、硬化後の気泡性状を調査した²⁾。高所からコンクリートを落下させて打ち込んだ場合、バイブレータによる横移動を行った場合についてそれぞれ実験を行った。

高所からの落下は、合計20Lのフレッシュコンクリートを二回に分けて、高さ4.0mまたは1.5mからプラスチック製容器内に落下させた。落下前後のコンクリートから試料を採取し、φ100×200mmの円柱供試体を製作した。硬化後に供試体から試料を採取し、リニアトラバース法（ASTM C 457-98）による気泡組織の観察を行った。

コンクリートの横移動は、長さ6.0m×幅0.25m×高さ0.6mの木製型枠の片側に、100Lのコンクリートをバケツで投入し、全量を投入した後に棒形振動機で締固めながら、コンクリートの先端が4.5mに達するまで横移動させた（図-3）。締固めは、まず、投入側から0.25mの位置で5秒間行い、その後は、進行方向に0.5m間隔で移動

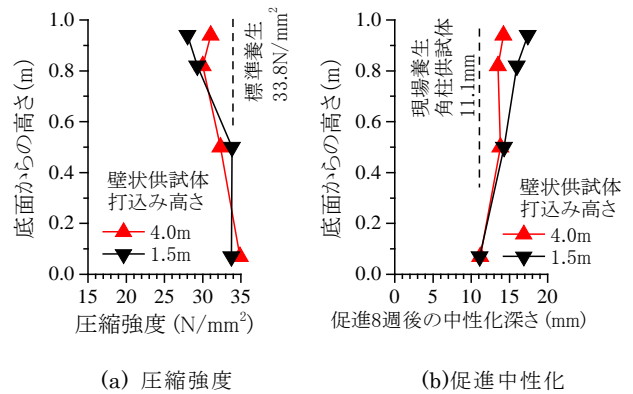


図-2 打込み時に衝撃等を受けた壁状供試体の圧縮強度及び促進中性化試験結果

表-2 凍結融解試験結果（300サイクル後の相対動弾性係数、%）

試料採取位置		高さ4.0mから打込み		高さ1.5mから打込み		落下無し	
壁状供試体	底面から	102	98	99	87	100	97
	約0.9m	x	x	x	x		
	底面から	x	x	100	98		
	約0.8m	x	x	x	x		
	底面から	99	x	100	99		
	0.5m	x	x	99	97		
底面から	102	99	102	101			
約0.1m	x	x	100	47			
角柱供試体						100	97

※供試体の破壊により相対動弾性係数が適切に測定できなかった試料は“x”と表示し、網掛けした。
 ※壁状供試体からは同一高さで4箇所から、比較用の現場養生した角柱供試体からは2箇所から試料を採取した。

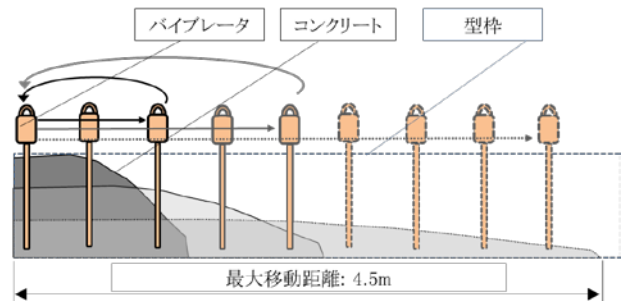


図-3 バイブレータによる横移動の状況

して5秒間ずつ振動を与えた。加振後、先端が4.5mに到達しない場合は、再度、投入側から0.25mの位置に戻って、進行方向に0.5m間隔で振動を与え、コンクリートが4.5mに到達するまで繰り返した。その後、投入位置および横移動さ

表-3 コンクリートの配合及び試験結果 (エントレインドエアの検討)

配合種類	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)								sl (cm)	Air *2 (%)	σ ₂₈ (N/mm ²)
		W	C	微粉末	S	G	AE減水	高性能	AE助剤			
高流動	55	170	309	200	768	821	—	1.6	4.0	*1	5.9	40.3
従来土木	55	160	291	—	847	980	0.6	—	5.0	7.0	6.1	33.4
軟練り	55	170	309	—	806	980	0.6	—	5.0	15.5	5.6	32.6
加水	65	194	298	—	781	951	0.6	—	20.0	20.5	4.8	24.2

※ 普通ポルトランドセメント、石灰石微粉末 (密度2.71g/cm³、粉末度3620cm²/g) 掛川産山砂 (密度2.57g/cm³、吸水率1.87%、FM 2.81)、笠間産砕石 (密度2.67g/cm³、吸水率0.55%)、リグニンスルホン系AE減水剤、ポリカルボン産系高性能AE減水剤、変成ロジン酸化合物系空気量調整剤を使用した。

*1 高流動コンクリートは、スランプフロー62.5cmであった。

*2 エントレインドエアの変化が捉えやすいように、目標空気量を通常よりも大きい5.5%とした。

せた先端付近のコンクリートを採取し、硬化後の気泡組織の観察を行った。

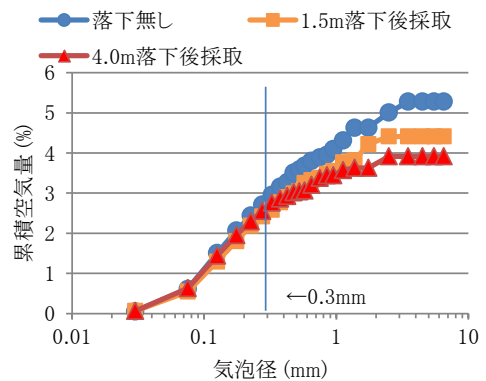
これらの検討に用いたコンクリートの配合及び試験結果を表-3に示す。「従来土木」は、土木用コンクリートとしてよく用いられているスランプ8cm程度のコンクリートを模擬したものである。「軟練り」は、スランプが15cmとやや大きいが適切な材料分離抵抗性を有すると見られる配合である。「高流動」は、石灰石微粉末を用いて高流動コンクリートとしたもので、一般的なコンクリートよりも材料分離抵抗性に優れると見られる配合である。「加水」は、単位水量を増やしてスランプを無理に増大させた材料分離しやすい配合である。

3.2 高所からの落下の影響

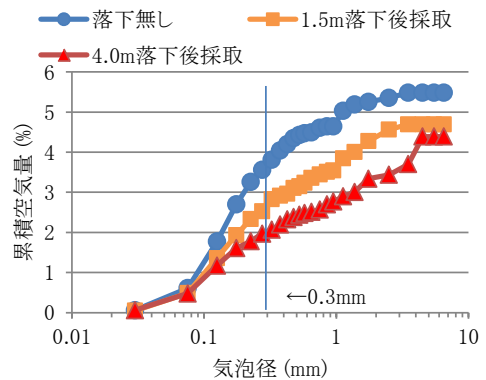
気泡の観察結果から各配合の落下前後の気泡径と累積空気量の関係を求めた例を図-4に示す。例に示した「従来土木」の配合では、エントレインドエアが主体と考えられる比較的小さい径の範囲では空気量の変化は明確でなく、施工中に巻き込まれた粗大な気泡も含まれる比較的大きい径の範囲では空気量が減少していた。一方、「軟練り」の配合では、落下の影響を受けると比較的小さい気泡径でも空気量が減少していた。

凍結融解抵抗性に有効な気泡径の範囲や必要量については諸説あるが、径が0.3mm程度以下の気泡の量が耐凍害性の確保に重要と考えられている。そこで、径が0.3mm以下の気泡の空気量に着目して比較した (図-5)。

高所から落下させると「軟練り」、「加水」の配合では、空気量が減少した。落下高さが1.5mの場合は、空気量が減少しても他の配合と同程度の空気量が残っていたが、落下高さを4.0mとする



(a) 従来土木



(b) 軟練り

図-4 落下前後の気泡径分布の変化の例

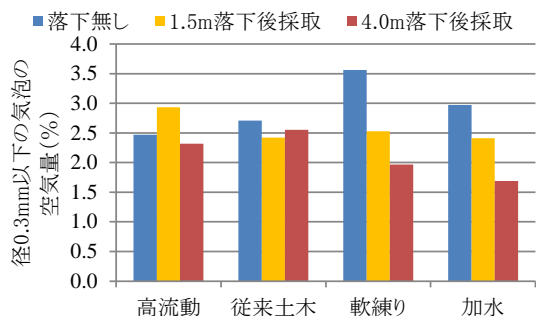


図-5 落下前後に採取した試料の空気量 (気泡径0.3mm以下)

と、空気量はさらに低下した。落下の衝撃による材料分離によって、エントレインドエアが減少したおそれがある。これらの試験結果から、打込み高さの規定を遵守しないと耐凍害性に悪影響を及ぼすおそれがあることが確かめられた。

3.3 横移動の影響

コンクリートを横移動させるために要した振動締固め回数を表-4に示す。なお、「従来土木」の配合では、実験の結果、先端が4.5mに達するまで横移動させることが困難であったので、4.0mに達した時点で打ち切った。

横移動させた前後のコンクリートについて、径が0.3mm以下の気泡の空気量を比較して図-6に示す。

「高流動」の配合では、横移動させてもほとんど空気量に変化していなかった。一方、「従来土木」の配合では、空気量の顕著な低下が認められた。他の配合よりも多数回の締固めを要したこと、投入位置と横移動させた先端部分の空気量が同程度であることから、過剰な振動の影響が大きかったものと考えられる。実験時には、各位置で上下方向にモルタルと粗骨材の材料分離が生じていた。試料を採取する際には、上下のコンクリートを混合して採取したが、分離した際にエントレインドエアに悪影響が生じたものと考えられる。

「軟練り」「加水」の配合でも、空気量の減少が認められた。分離しやすい「加水」の配合は、短時間の締固めでも空気量が顕著に低下していた。

4. まとめ

コンクリートの打込み時に過度な衝撃を加えたり、長時間の締固めを行ったりすると、フレッシュコンクリート中のエントレインドエアが減少し、耐凍害性に悪影響が生じるおそれがあることが分かった。

特に材料分離しやすい不適切な配合を用いた場合は、その影響が大きかった。スランプ8cm程度と15cm程度の配合を比較すると、落下による衝撃に関してはスランプが小さい方が影響を受けにくかった。しかし、充填しにくい場所で長時間振動締固めを行うと空気量が顕著に低下するおそれがあることが分かった。施工条件にあわせたコンクリートの選定が重要であるといえる。

表-4 横移動に要した締固め回数

配合種類	打込み側端面からの距離ごとの締固め回数								
	0.25m	0.75m	1.25m	1.75m	2.25m	2.75m	3.25m	3.75m	4.25m
高流動	1	1	1	1	1	1	1	1	1
従来土木	14	14	14	13	12	10	8	4	-
軟練り	8	8	8	8	8	8	8	6	4
加水	2	2	2	2	2	2	2	2	1

※締固め時間は1回5秒である。

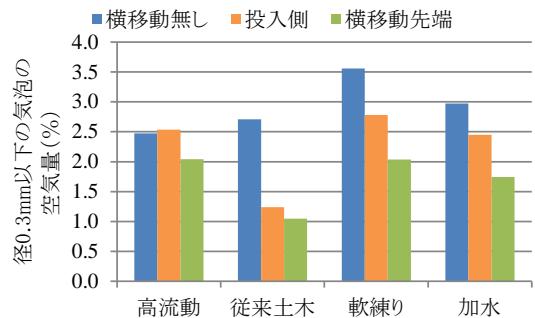


図-6 横移動前後に採取した試料の空気量 (気泡径0.3mm以下)

コアの圧縮強度試験などで耐凍害性の低下を把握することはできなかった。現状では、エントレインドエアの減少を簡易に測定する手法が確立されていないので、打込み高さ等の規定によりがたい場合には、材料や施工においてなんらかの対策を行った上で、耐凍害性に悪影響がないことを事前に把握しておくことが重要と考えられる。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所：コンクリート施工の改善法に関する調査報告書、土木研究所資料第2456号、1987.2
- 2) 勝崎敏幸、古賀裕久、渡辺博志、渡邊健治：コンクリートの施工がエントレインドエアに及ぼす影響、セメント・コンクリート論文集、Vol.68、pp.291～298、2015.3

古賀裕久



国立研究開発法人土木研究所先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 上席研究員 (汎用材料担当)、博士 (工学)
Dr.Hirohisa KOGA

渡辺博志



国立研究開発法人土木研究所先端材料資源研究センター材料資源研究グループ長、博士 (工学)
Dr.Hiroshi WATANABE