

締固め完了エネルギーの観点に基づくフレッシュコンクリートの 分離抵抗性および施工性能の評価

大成建設（株）技術センター	社会基盤技術研究部	材工研究室	正会員	○梁	俊
大成建設（株）技術センター			フェロー会員	丸屋	剛
大成建設（株）技術センター	社会基盤技術研究部		フェロー会員	坂本	淳
大成建設（株）技術センター	社会基盤技術研究部	材工研究室	正会員	松元	淳一

1. はじめに

耐震基準の変更による配筋の高密度化，ポンプ圧送の長距離化などによって，施工が難しくなる場合も年々多くなり，施工条件と施工性能の乖離が大きくなっている．コンクリートの打設計画の段階において，構造条件や施工条件を考慮して，密実なコンクリートを確保するのに必要な最小スランプ値を理論的，かつ定量的に選定することは現時点では困難である．

良質な骨材が得られ，混和剤の種類も少なかった時代には，コンクリートの分離抵抗性に影響する要因が少なく，スランプ試験により求められたコンシステンシーにより，ワーカビリティの間接的な評価が可能であった．しかし，骨材や混和剤が多様化した現在では，スランプが同一であっても必ずしも分離抵抗性が同一とは限らず，現在では，スランプ確保と同時に適切な分離抵抗性が確保されているとは必ずしもいえない．本稿では，コンクリートの締固めエネルギーの観点からこれらの課題に取り組み，フレッシュ性状の簡易評価およびコンクリートの締固め性の評価方法を提案した．

2. 締固めエネルギーの算出方法と締固め完了エネルギーの定義

コンクリートの締固め完了エネルギーを測定する試験装置を図-1 に示す．測定の手順としては初めに，直径が 24cm の円筒容器の中でスランプ試験を行い，振動台にセットして振動をかける．その際に試料の上面の沈下量と振動台の加速度，振動数を記録する．試料の上面の沈下量は，非接触レーザー変位計により，沈下板の沈下を計測することで測定する．

コンクリートの締固め性は，コンクリートのコンシステンシーに応じた締固め前における型枠中のコンクリートの見掛けのかさ密度から，コンクリートの配合の理論密度に至る変形の容易さを表すものと考えることができる．そこで，締固めの程度は，円筒容器中の試料の最も高い部分を高さとする円筒体積に対するコンクリート試料の真の体積の比として捉え，これを締固め度 γ と定義する．締固め度 γ は式(1)により表すことができる¹⁾．

$$\gamma = \frac{H_0}{h} \times 100 = \frac{m}{\rho \times A \times h} \times 100 \quad (1)$$

ここに， γ ：締固め度(%)， H_0 ：配合に基づく理論上の単位容積質量まで締め固められた時の試料の高さ(dm)， h ：任意の締固め時間における試料の高さ(dm)， m ：試料の質量(kg)， ρ ：試料の単位容積質量(kg/L)， A ：円筒容器の底面積(dm²)

一方，締固めエネルギーは式(2)により求めることができる²⁾．



図-1 締固め試験装置

キーワード 締固めエネルギー，締固め完了エネルギー，充填性，分離抵抗性，施工性

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 TEL 045-814-7228

$$E_t = \frac{\rho \alpha_{\max}^2 t}{4\pi^2 f} \quad (2)$$

ここに、 E_t : t 秒間にコンクリートが受ける締固めエネルギー (J/dm^3)、 t : 振動時間 (s)、 $\alpha_{\max}$: 最大加速度 (m/s^2)、 f : 振動数 (s^{-1})、 ρ : 試料の単位容積質量 (kg/L)

本稿では、締固めを終了してもよいとされる締固め度を、99.5%と設定し、図-2 に示すように締固め度 99.5%までに与えられたエネルギーを締固め完了エネルギー ($E_{99.5}$)と定義した¹⁾。締固め完了エネルギーが最小な配合を選定することで、コンクリートの締固めに最適な配合を定量的に選定することができる。

3. コンクリートの分離抵抗性の簡易評価方法

コンクリートのフレッシュ性状を評価する試験方法はいくつかが提案されているが³⁾、ほとんどが新たな装置を使用する方法で現場での検査方法としては普及しにくい問題が存在する。現場では、スランブ試験後に、スランブ板を叩いて、コンクリートの変形状態を観察することで分離抵抗性を判断することが多いが、定量的な評価には至っていない。本稿では、スランブが 5~15cm であるコンクリートを対象として、締固め完了エネルギーの観点から、スランブ試験後の試料をスランブフローが 47cm になるまでハンマーでスランブ板を叩いた後、コンクリート試料上面の円形の有無を確認することによりコンクリートの分離抵抗性を評価する簡易方法を提案した。

(1) 使用材料およびコンクリートの配合

実験に使用した標準配合を表-1 に示す。使用した材料は、普通ポルトランドセメント (密度 $3.16\text{g}/\text{cm}^3$)、君津産山砂 (表乾密度 $2.65\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率 1.56%)、青梅産石灰碎石 (2005) (表乾密度 $2.66\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率 0.60%)、AE 減水剤 (標準型)、AE 剤である。

(2) 締固め完了エネルギーを受けたコンクリートの流動状態に関する検討

標準配合をもとに、細骨材率、水セメント比、スランブなどを変化させ、フレッシュ性状が相違するさまざまな配合を選定し、各配合の締固め完了エネルギーを計測した。その後、各配合に対して図-1 に示す装置から沈下板と沈下板固定用フレームを外した振動台 ($60 \times 60\text{cm}$) の上でスランブ試験を行い、図-3 に示すように、各配合の締固め完了エネルギーに相当する振動エネルギーを与えて振動後のスランブとスラ

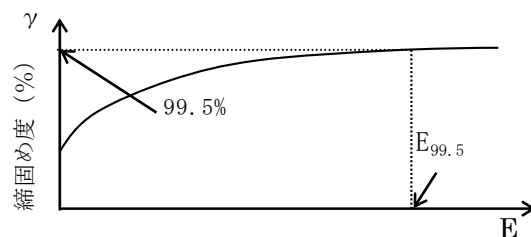


図-2 変形進行曲線の模式図

表-1 標準配合

スランブ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)					AE 減水剤 C×%
			W	C	S	G1	G2	
8	55	40.5	153	278	769	452	673	0.25

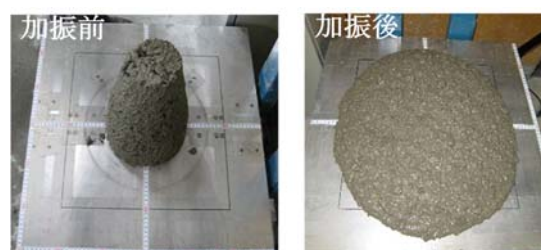


図-3 加振前後の試料の状態例

表-2 各配合測定結果

W/C (%)	s/a (%)	締固め完了 エネルギー (J/L)	加振 時間 (s)	スランブ (cm)		加振後ス ランブフ ロー(cm)
				前	後	
55	40.5	1.66	5.5	8.5	24.7	45.8
55	35.0	2.60	8.1	10.7	24.0	49.0
	45.0	1.73	5.7	10.5	24.5	48.8
30	40.5	11.4	32.2	0.3	21.0	48.3
40		4.16	12.4	5.2	24.0	48.7
50		2.16	6.9	7.3	24.0	46.9
60		2.17	6.9	7.5	24.3	48.1
55	55	1.27	4.5	8.9	24.0	48.2
55	40.5	3.23	9.8	4.7	23.9	48.1
	40.5	1.03	3.8	11.2	24.4	46.7
	44.5	0.80	3.2	16.7	24.3	46.5

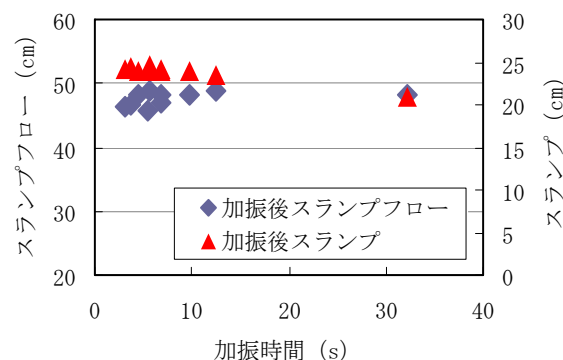


図-4 加振後のコンクリート試料のスランブおよびスランブフロー

ンプフローを求めた⁵⁾。各配合の加振時間とスランプ、スランプフローを表-2 および図-4 に示す。図-4 に示すように、締固め完了エネルギーの大きさを示す加振時間が 3.2～32.2 秒の大きい幅で変動してもコンクリート試料の加振後のスランプとスランプフローはほぼ一定であり、スランプフローは 47cm、スランプは 24cm 前後になっている。このことは、配合が相違しても、締固め完了エネルギーを受けたコンクリート試料のスランプフローは一定になることを示している。したがって、スランプが 5～15cm であるコンクリートにおいて、叩きの回数と叩きに使用した道具に関係なく、スランプ試験後の試料がスランプフロー47cm になるまで叩くのに使用されたエネルギーを締固め完了エネルギーとして見なすことができる。

締固め完了エネルギーの定義からわかるように、締固め完了エネルギーはコンクリートを締め固めるのに必要な最小のエネルギーである。コンクリートを締め固めるためには少なくとも締固め完了エネルギー以上のエネルギーを与えなければならない。したがって、スランプ板を叩いてコンクリート試料のスランプフローが 47cm になるまで、つまり締固め完了エネルギーを受けるまでに図-5 の「①フロー47cm」に示すような崩れ、水跡などが発生する場合には、材料分離抵抗性が不足した配合であると判断することができる。

(3) 叩き後の試料形状による分離抵抗性評価方法の検討

スランプフローが 47cm になるまで叩いて崩れなどが無い配合であっても施工に最適な配合であるとは言い切れない。したがって、最適な配合を判断する方法を検討する必要がある。コンクリートの材料分離をモルタルと粗骨材の分離とすると、材料分離抵抗性は、モルタルの塑性粘度によって支配的な影響を受けると考えられる。塑性粘度の大きなモルタル組成であるコンクリートの場合、叩きによって衝撃を加えた際に、試料の上部は粘性の影響が卓越し変形を起こさず、試料の下部のみが変形することとなる。しかし、塑性粘度が小さければ試料は上部でも変形し、この結果、試料上面の円形を保持しなくなる。このようなことから、試料上部の円形の保持性によって、材料分離抵抗性を評価できるものと考えられる⁴⁾。したがって、本研究では、細骨材率の変化、単位水量の変化、外割加減水の影響を検討した末⁵⁾、スランプ試験後の試料を変形後の直径が 47 cm になるまで叩いて観察面の円形縁の有無を確認することで、コンクリートの材料分離抵抗性の変化を評価

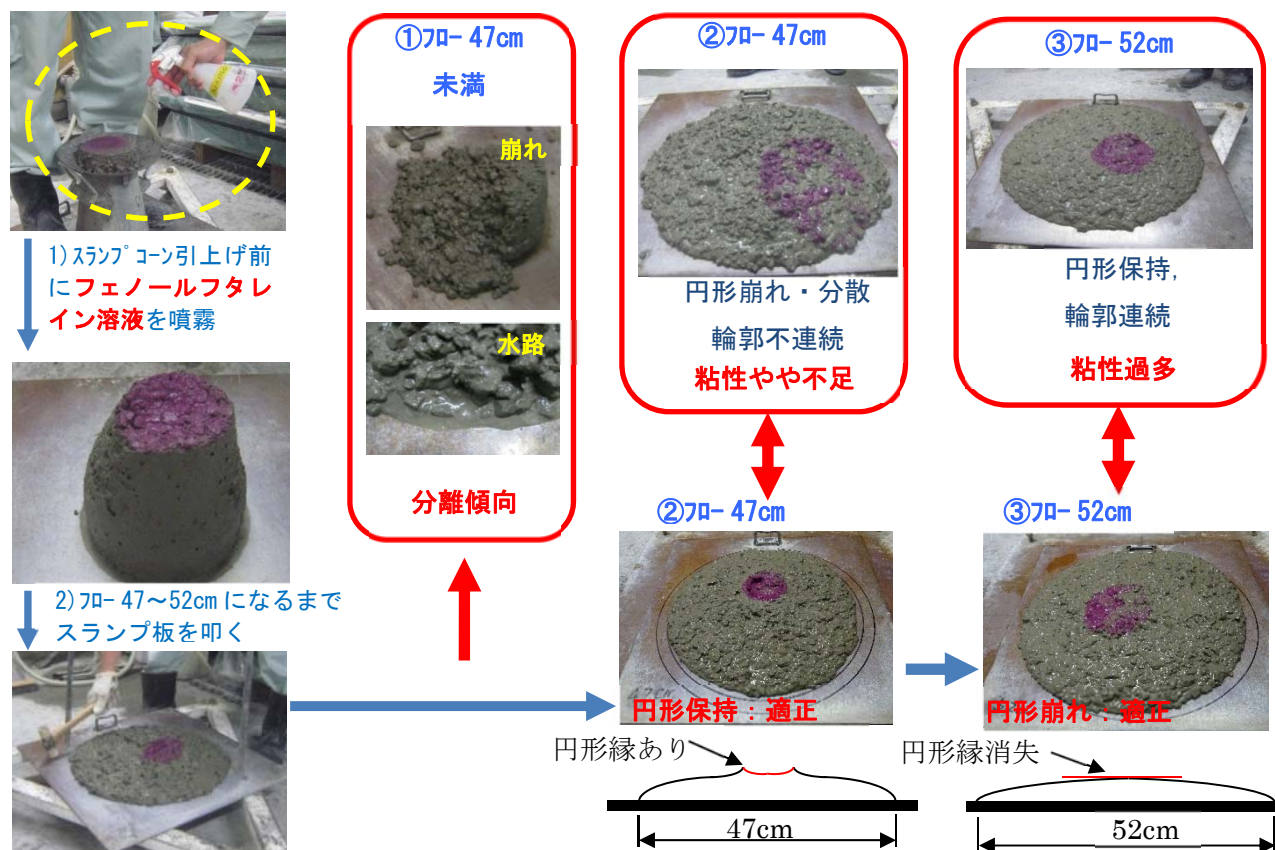


図-5 材料分離抵抗性の簡易評価方法 試験手順

できる方法を次のように提案した．試験の手順を図-5 に示す⁶⁾．

- 1) スランプコーンに試料を詰める．スランプコーンに詰めたコンクリートの上面をスランプコーンの上端に合わせてならす．このとき、コンクリートの上面は粗骨材が見えないようにコテなどを使用して丁寧にならす．
- 2) コンクリートの上面にフェノールフタレイン溶液をコンクリートの上面の全てが赤紫色になることが確認できるまで噴霧する．この赤紫色で着色した部分を観察面とする．
- 3) コンクリートがスランプコーンの中心軸に対して偏ったり、くずれたりして、形が不均衡にならないようにスランプコーンを静かに鉛直に引き上げる．
- 4) スランプ試験の要領でスランプコーンを静かに鉛直に引き上げる．この時、スランプを測定する．
- 5) 木づちでスランプ試験用平板を叩いて、その振動によってコンクリート試料の直径が 47cm になるまで変形させる．この変形過程で試料に崩れや分離、水跡などが発生する場合には、材料分離抵抗性が不足した配合であると判断する．また、スランプフロー47cm まで試料が変形した段階で、試料上部の着色面の円形縁が保持されている場合はコンクリートが適正な分離抵抗性を保有、円形縁が切れた場合は分離抵抗性が不足していると判断する．
- 6) さらに、叩きによってコンクリート試料の直径が 52cm になるまで変形させる．この変形過程で円形縁が切れる場合を適切な分離抵抗性を有する状態と判断し、スランプフロー52cm まで変形した段階においても円形縁が保持されている場合には分離抵抗性が過大な状態と判断とする．

4. コンクリートの締固め完了範囲の評価

内部振動機の挿入間隔及び振動時間はコンクリートの締固めに大きく影響する．したがって、施工計画で、内部振動機の種類と振動時間が決められた場合、内部振動機の挿入間隔を決める必要がある．本稿では、実構造物をモデル化した要素試験体を用いて、コンクリートのスランプをパラメータとし、コンクリートの締固め完了エネルギーから密実なコンクリートを施工するために必要な内部振動機の挿入間隔と振動時間を定量的に評価する方法を検討した．

(1) 締固め完了範囲の判断

コンクリートを締め固めるにはエネルギーが必要であり、一般には内部振動機をコンクリート中で振動させることにより、そのエネルギーは与えられる．内部振動機による振動をコンクリートに与え続けると、エネルギーは累積されるが、振動機から距離が遠い程、累積されるエネルギーは小さくなるので、内部振動機からの距離によるエネルギーの分布は図-6 の赤い破線のように示すことができる．累積されたエネルギーが、コンクリートの締固めを完了するのに必要なエネルギー以上となる範囲を締固め完了範囲（赤破線が青点線より大きい範囲）とする．振動時間を一定にした場合、エネルギーは加速度 $\alpha_{\max}$ の関数である．したがって、加速度の分布を求めると式(2)によりコンクリートに累積されるエネルギーの分布を求めることができる．著者らは、一連の実験の結果、締固め完了エネルギーによる内部振動機の締固め範囲の評価手法を確立した⁷⁾．

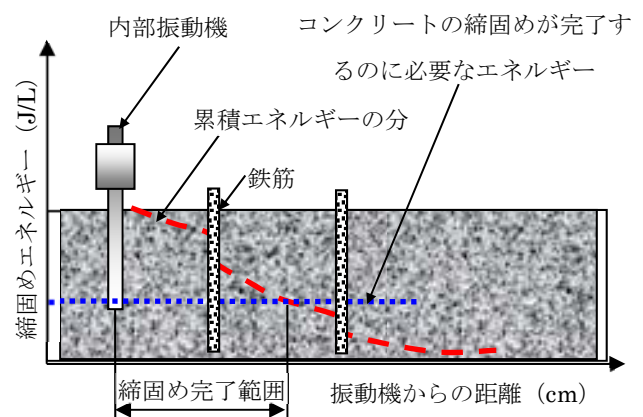


図-6 締固めエネルギー分布の概念図

(2) 鉄筋を埋設した模擬試験体における加速度分布の測定実験
高密度配筋部材と同等の配筋条件にした長さ 1m、幅 0.4m、高さ 0.5m の模擬試験体を用いて、内部振動機

からの距離における加速度の分布を測定した。模擬試験体は、5章に記す実構造物と同等の配筋条件となるように、型枠内には、主鉄筋 D41@125 の二段配筋、配力鉄筋 D25@125 の鉄筋に加えて、D25 のせん断補強鉄筋、D25 の配力鉄筋、せん断補強鉄筋である D25 のプレート定着型せん断補強鉄筋を設置した。かぶりは、側面が 130mm、底面が 89mm である。

加速度センサの取付け位置は、加速度の減衰が著しいと思われる底面のかぶり部、側面かぶり部および側面と底面の角部とした。加速度センサは長手方向に 128mm 間隔で配置した。φ60mm の内部振動機の先端を型枠の底面から 90mm の位置まで挿入し、コンクリート標準示方書に記述されている締固め時間の最大値である 15 秒間締固めを行った。なお、本試験では、スランプ 8, 12, 15cm のコンクリートを用いて実験を行った。

図-1 に示す締固め試験装置を用いて、スランプ 8, 12, 15cm のコンクリートの締固め完了エネルギーを測定した結果、それぞれ 1.78, 1.03, 0.78J/dm³であった。締固め完了エネルギーがスランプの増加により小さくなっていることがわかる。

底面における締固め完了範囲の評価を一例として、コンクリートの配合に固有な締固め完了エネルギーと振動機からの距離による締固めエネルギーの分布から締固め完了範囲を求める方法を説明する。

底部にセットした各センサが測定した加速度から計算した内部振動機からの距離における加速度の分布を図-7 に示す。内部振動機からの距離による加速度の分布はコンクリートのスランプの大小に応じて変化しているとは必ずしも言えない。そこで、式(1)により、スランプ 8, 12, 15cm のコンクリートを用いた場合の加速度センサがセットされている各点における 15 秒間の累積締固めエネルギーを求めた。

図-8 に底部におけるエネルギーの分布を示す。図-8 の赤の点線で示すように、締固め完了エネルギー相当の累積エネルギーを受けた位置までをスランプ 8cm のコンクリートを使用した場合の締固め完了範囲とした。また、黒の点線のように、スランプ 12cm, スランプ 15cm の場合の締固め完了範囲を求めた。同様に、型枠の側部および角部について各スランプの締固め完了範囲を評価した結果を表-3 の計算値欄に示す。各スランプにおいて、締固め完了範囲が最小である底部の締固め完了範囲をその配合の最小締固め完了範囲とした。

以上の測定結果より算出したスランプ 8, 12, 15cm のコンクリートが十分締固められるのに必要な内部振動機の挿入間隔と締固め時間の関係を図-9 に示す。図により、施工計画段階で、施工に使用するコンクリートのスランプ

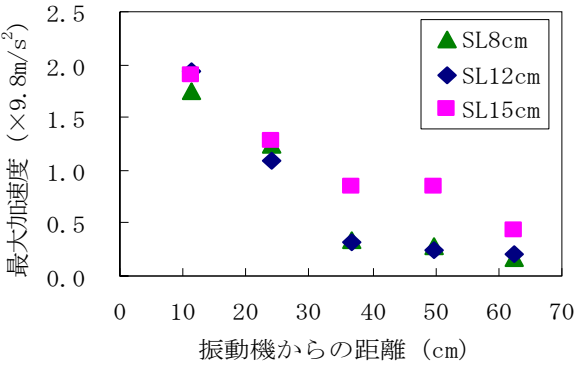


図-7 最大加速度の分布（底部）

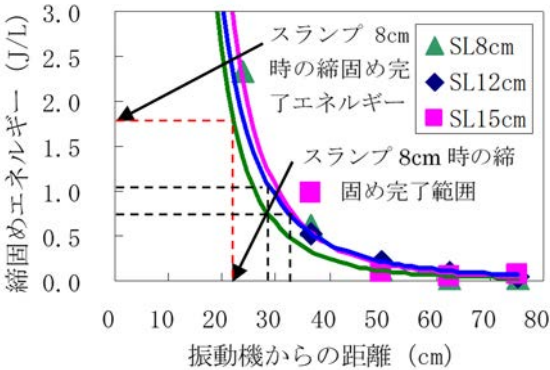


図-8 締固めエネルギーの分布（底部）

表-3 締固め完了範囲の計算値および実測値
(振動機からの距離)

スランプ(cm)	8.0	12.0	15.0
計算値（底）(cm)	22.2	29.3	33.1
計算値（角）(cm)	24.2	32.3	39.0
計算値（側）(cm)	26.5	34.7	36.3

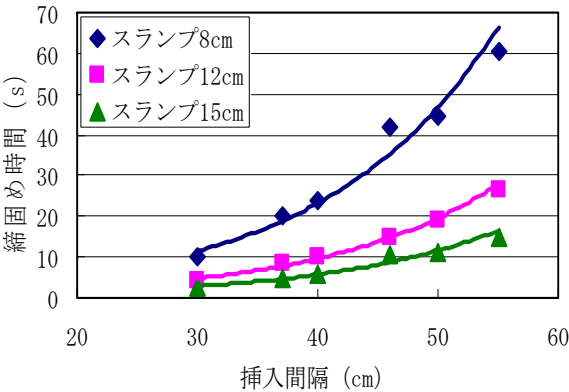


図-9 内部振動機の挿入間隔と締固め時間の関係

によって内部振動機の挿入間隔と振動時間を決めるか、あるいは決められた挿入間隔と振動時間によって、コンクリートの十分な締固めを保障することができるコンクリートのスランプを選定することができる。例えば、図-9 において、スランプ 12cm の場合は、締固め時間 15 秒間で挿入間隔 46cm であれば、コンクリートは理論密度まで締め固まると判断することができる。

5. 実大規模施工実験および実施工による検証

本研究で検討した、コンクリートの締固め完了範囲の評価試験とフレッシュ性状の簡易評価試験を東京外環自動車道田尻工事に適用した⁸⁾。適用した結果を以下にまとめる。

(1) 締固め完了エネルギーによる評価の実規模施工試験による検証

4 章の検討結果を実施工に適用する前に、その妥当性を確認するため、模擬試験体で対象とした部材の実大規模での施工実験を行った。実大実験供試体の対象部位は、ストラットと上床桁の交差部を模擬した 2.5m×2.5m×2.0m の供試体である。打設するコンクリートは、ポンプ筒先でスランプ 12cm のコンクリートとした本ケースとの比較として、同じ施工条件でスランプ 8cm のコンクリートを用いた場合も並行して実施した。締固め条件はスランプの大小に関わらず、コンクリート内部まで挿入後の締固め時間を 15 秒、挿入間隔を 46cm として行った。打設の全景を図-10 に示す。

硬化後、試験体の底面の高密度配筋部である図-11 に赤点線で囲まれた部位を切り出し、コンクリートの充填状況を確認した。図-12 の切断面から明らかなように、スランプ 12cm のコンクリートを打設した試験体は、表面状況が良好で切断面もコンクリートが十分に締め固められているが、スランプ 8cm のコンクリートを打設した試験体の表面は底面の高密度配筋部に不具合が生じ、切断面には鉄筋の下への未充填、あるいは大きな空隙が存在し、内部の締固め不十分の程度は外観から想定されたより大きくなっている。

図-8 に示すように、スランプ 12cm の場合、締固めが十分できる条件は内部振動機の振動時間が 15 秒で挿入間隔が 46cm 以下である。スランプ 8cm の場合、内部振動機の振動時間が 15 秒で締固めが確保できる挿入間隔は 33cm 程度である。前述の通り、試験時の締固め時間および挿入間隔はそれぞれ 15 秒、46cm で一定としたため、スランプ 12cm の試験体は充分締め固められるが、スランプ 8cm の試験体は充填不良が発生することが予想され、本試験では予想通りの結果となった。このように、締固め完了エネルギーによる締固め性の評価方法により、外環田尻工事に適用するコンクリートのスランプを最初に設定した 8cm から 12cm に変更することにした。

(2) 分離抵抗性の簡易評価の実施工への適用

外環田尻工事では、配合選定時と実施工時にフレッシュ性状の簡易評価試験を実施することでコンクリートの品質向上に努めた。まず、配合選定時は、スランプ試験終了後に分離抵抗性試験を適用し、



図-10 試験体の打設全景



図-11 試験体からの切り出し箇所
(スランプ 8cm)



図-12 試験体の切断面の状況

粘性の過多、過小を評価し、場合によっては、単位水量、細骨材率を変更するなどの配合修正を行い、施工に適切な配合を選定した。次に、実施工の受入れ検査時に分離抵抗性試験を実施し、受け入れたコンクリートのフレッシュ性状と選定した配合のフレッシュ性状との同一さを確認した。ルールとして、①スランプフローが 47cm～52cm まで広がっていく最中に割れ・水跡が認められた場合は、品質管理担当者からプラントへ返却の連絡を入れることとした。②スランプフローが 47cm の時点で円形跡が分散した場合は、分離抵抗性が低いと判断し、充填不良を避けるために入念な締固めをする。③スランプフローが 52cm になっても円形跡が保持される場合は、粘性が高いので表面気泡の発生を避ける対策をとる。この②③については、品質管理担当者から打設担当者へ連絡を入れることとした。また、打込み時のコンクリートの性状が適切ではない場合、打設担当者から品質管理担当者へ連絡を入れ、臨時の分離抵抗性試験を実施し、対策を講じることとした。

図-13 に分離抵抗性試験を実施していないⅠ期工事と分離抵抗性試験を実施したⅡ期工事のコンクリートの打継ぎ部の表面を示す。なお、コンクリートの配合（30-12-20BB）、出荷プラント、打設時の作業員はⅠ期工事、Ⅱ期工事とも同じである。ここでは、構築後のそれぞれのコンクリート表面の気泡に着目して、目視観察により出来形評価を行った⁹⁾。その結果、分離抵抗性試験を実施していないⅠ期工事の表面気泡は全体的に多く、コンクリートの粘性が高い状態で締固めを行っていたと推察される。これに対し、Ⅱ期工事の場合、脱型後から時間が経過していないため、コンクリート表面が若干黒ずんで、型枠跡こそ残っているものの、表面気泡は明らかに少なくなっており、出来形（見映え）が向上したと判断できる。

図-14 にⅠ期工事とⅡ期工事の同一スランプが出荷した同一配合のコンクリートを同一組の作業員が施工した部位の表面状況を示す。Ⅱ期工事の表面表面品質がⅠ期工事より向上されたことがわかる。フレッシュ性状の簡易評価試験の導入により、正確な受入れ検査結果に伴うコンクリート製造者の自主的な改善、分離抵抗性の評価に基づいた締固めに対する現場作業員の適切な判断が硬化後のコンクリートの品質を向上させたと考えられる。

6. おわりに

本稿では、スランプ試験後の試料を空気量測定時に使用するハンマーでスランプ板を叩き、上面円形の有無を観察することでコンクリートの材料分離抵抗性を評価する方法と、コンクリートの締固めエネルギーの観点から施工に必要となる内部振動機の挿入間隔と振動時間を定量的に評価する方法を検討し、その検討結果を外環道田尻工事に適用することで、品質の向上に貢献することができた。以下に本稿で提案した技術をまとめる。

- 1) スランプが 5～15cm のコンクリートを対象に、スランプ試験後のコンクリート試料に締固め完了エネルギーに相当するエネルギーを与えると、スランプの大小にかかわらず、スランプフローは一律に 47cm 程度まで広がることを見出した。この事より、スランプ試験後の試料をスランプフロー47cm に広がるまで叩いた後の試料上面の円形の有無から、材料分離抵抗性の優劣を判断できる簡易評価方法を考案した。

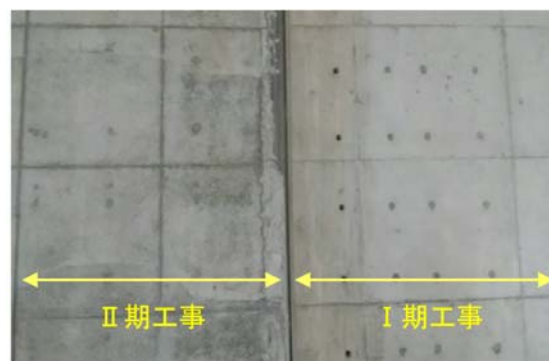
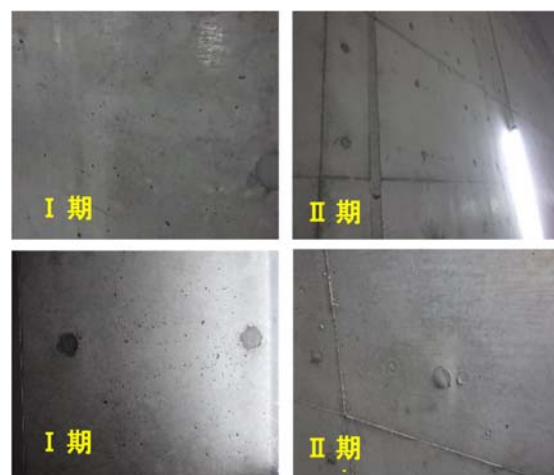


図-13 評価対象とした構造部位



※Ⅰ期工事

※Ⅱ期工事

図-14 構築後のコンクリート表面

- 2) 締固めエネルギーにより締固め完了と評価した範囲の計算結果と実構造物をモデル化した模擬試験体における締固め完了範囲はほぼ一致していた。また、実大試験体においても、結果が締固め完了エネルギーによる評価と一致していた。累積された内部振動機による振動エネルギーが、コンクリートの締固めを完了するのに必要なエネルギー以上となった範囲を締固め完了範囲とすることで、鉄筋コンクリートの締固め完了範囲を評価することが可能である。
- 3) 本稿では、1), 2) の研究成果を実工事に適用して、定量的かつ詳細な施工計画を立案することで、コンクリート施工時の品質が向上されたことを確認した。

謝辞

本技術の現場適用に際し、東日本高速道路株式会社関東支社千葉工事事務所稲荷木工事区 小島工事長(当時)はじめ工事関係者の方々には、多大なるご協力を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 梁俊, 國府勝郎, 宇治公隆, 上野敦: フレッシュコンクリートの締固め性試験法に関する研究, 土木学会論文集 Vol. 62, No. 2, pp. 416-427, 2006.6
- 2) 國府勝郎, 上野敦: 締固め仕事量の評価に基づく超硬練りコンクリートの配合設計, 土木学会論文集, No.532/V-30, pp.109-118, 1996.2
- 3) 日本コンクリート工学協会: 施工の確実性を判定するためのコンクリートの試験方法とその適用性に関する研究報告書, pp. 67-72, 2009.7
- 4) 石井佑大, 宇治公隆, 上野敦: タンピング試験におけるワーカビリティの簡易評価方法の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.2, 2008
- 5) 梁俊, 丸屋剛, 坂本淳: コンクリートの分離抵抗性の簡易な定量評価方法の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.1174-1179, 2012.7
- 6) 日本コンクリート工学協会: 施工の確実性を判定するためのコンクリートの試験方法とその適用性に関する研究報告書, pp. 67-72, 2009.7
- 7) 梁俊, 丸屋剛, 坂本淳, 松元淳一, 下村泰造, 滝沢正徳: 締固め完了エネルギーに基づくコンクリートの締固め完了範囲の評価方法に関する研究, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), Vol. 69, pp. 438-449, 2013
- 8) 小島裕隆, 松元淳一, 松村遼右, 寺下雅裕: 京葉道路, 国道 298 号線と 3 次元的に交差する東京外環自動車道京葉 JCT 田尻工事におけるコンクリート 29 万 m³ の施工, コンクリート工学誌, 56 巻 11 号 p. 942-947, 2018
- 9) 松元淳一, 梁俊, 堀口賢一, 坂本 淳: 分離抵抗性の簡易評価方法の現場適用による出来形の向上効果について, 土木学会第 72 回年次学術講演会概要集, V-531, pp.1061-1062, 2017.9