スランプフローで管理される普通コンクリートの配（調）合設計手法の提案と実工事への適用

宮 田 賢 優[*1]　　梶 田 秀 幸[*1]
舟 橋 政 司[*1]　　南　浩　輔[*1]
玖津見敏広[*2]　　宮 澤 友 基[*1]

要　　旨

建設技能労働者の不足を背景に，流動性を高めて施工性や生産性を向上させるコンクリートの活用が期待されている．しかし，増粘剤を用いないスランプフローで管理される普通コンクリートは配（調）合設計手法が確立されていないため，多くの試し練りを要する課題がある．著者らは，このコンクリートに対して，余剰ペースト膜厚理論を応用することで，高い流動性と所要の材料分離抵抗性を実現できる合理的な配（調）合設計手法を考案し，試し練りおよび市中レディーミクスト工場での試行検証により，本設計手法の有効性を確認した．さらに，実大施工実験および物流センター新築工事への適用を通じて施工性と生産性の向上効果を検証した．その結果，本コンクリートの適用により，打込み，締固めおよび均し作業の施工効率が向上することを確認した．

キーワード　生産性向上／普通コンクリート／スランプフロー／余剰ペースト膜厚理論／実適用

目　　次

1．はじめに
2．提案する配（調）合設計手法
3．室内試し練りによる配（調）合設計の確認
4．レディーミクストコンクリート工場での
　配（調）合設計の試行検証
5．実大規模の施工実験
6．実工事への適用
7．まとめ

PROPOSAL OF A MIX DESIGN METHOD FOR ORDINARY CONCRETE CONTROLLED BY SLUMP FLOW AND ITS APPLICATION TO AN ACTUAL CONSTRUCTION PROJECT

Yoshihiro　MIYATA　　**Hideyuki　KAJITA**
Masashi　FUNAHASHI　　**Kosuke　MINAMI**
Toshihiro　KUTSUMI　　**Yuki　MIYAZAWA**

Synopsis:

Due to the shortage of skilled construction workers, highly flowable concrete is expected to improve productivity in concrete construction. This study developed a rational mix design method for ordinary concrete controlled by slump flow based on the excess paste film thickness theory and validated it through laboratory and plant trials. Full-scale construction experiments and field application confirmed the required performance and improved efficiency of placing, consolidation, and leveling operations.

＊１本店　ICI テクノロジーセンター　建設材料グループ　　＊２本店　建築生産技術部　施工支援グループ

1．はじめに

本邦では建設技能労働者数が減少傾向にあり，その減少率は徐々に大きくなることが推計されている．また，就業者の高齢化や若年入職者の減少が今後も見込まれており，中長期的な担い手の確保・育成が大きな課題となっている．この課題の解決に向け，生産性向上を図る取組みが推進されている [1]．国土交通省が 2016 年から推進する i-Construction において，コンクリート工の生産性向上を図る方策の一つとして，流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用が進められている [2]．

また，2019 年の JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）の改正により，普通コンクリートの範囲にスランプフロー（以下，SF）45~60 cm のコンクリートが規定された．これを背景に，2022 年には日本建築学会「建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事」（以下，JASS 5）の 15.1 高流動コンクリートにおいて，軽微な振動・締固めにより型枠内に充填されるコンクリートは，高流動コンクリートの範ちゅうとして扱われた．2023 年には，土木学会から「締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計・施工指針（案）」が発刊され，スランプフローで管理される普通コンクリートの建設現場適用への環境整備が進められている．

高流動コンクリートは，粉体系，増粘剤含有減水剤系，増粘剤系および併用系に分類 [3]される．普通強度の範囲の高流動コンクリート，すなわちスランプフローで管理される普通コンクリートは，単位粉体量が比較的少なく，材料分離抵抗性の確保のため増粘剤を含有させた一液タイプの化学混和剤を用いた高流動コンクリートが一般的に普及している [3]．しかし，この化学混和剤を常備しているレディーミクストコンクリート工場は限られるため，製造に際しては，通常使用している化学混和剤との入替や，貯蔵設備の増設が必要になる場合がある．また，この化学混和剤を用いない場合は，材料分離抵抗性の確保のためセメント量が多くなりやすく，必要以上に強度が高くなることが課題である．これらの課題を解決するため，平山ら [4]や佐藤ら [5]は，増粘剤を使用せず，レディーミクストコンクリート工場で通常使用されている材料のみを用いてスランプフローで管理される普通コンクリートの使用を提案し，さらに，生産性向上に寄与する施工方法の一つであるコンクリートポンプ工法の吊るし打ちにおいても，材料分離を生じず，生産性向上と品質確保が両立可能なことを確認している．しかし，増粘剤を用いないスランプフローで管理される普通コンクリート（以下，FN コン）の配（調）合設計手法は確立されておらず，単位水や細骨剤率，骨材の混合比率などの様々なパラメータを調整し，配（調）合を設定する必要があり，多数の試し練りを要する課題がある．

そこで，本論文では，FN コンの配（調）合設計手法を提案することを目的とし，合理的な設計手法を構築して，室内試験練りによる確認および市中のレディーミクストコンクリート工場での試行検証を行い，本設計手法の有効性を確認する．また，FN コンの施工性を把握し，その生産性向上効果を検証することを目的とし，実大規模の施工実験および物流センター新築工事の 1 階構造体床スラブの一部へ適用し，床スラブ施工における打込み，締固めおよび均し作業の施工効率を，スランプ管理の普通コンクリート（以下，SL コン）と比較および評価を行う．

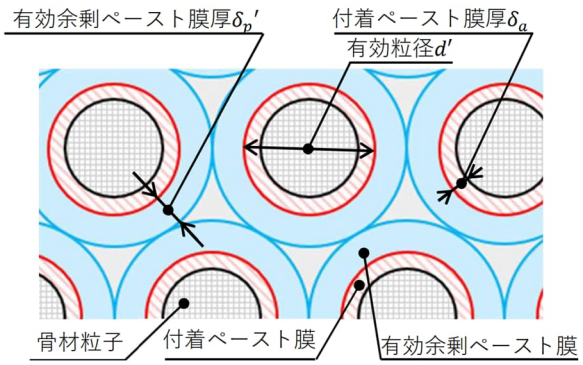


図-1 付着ペーストを考慮したモデル概念図

2．提案する配（調）合設計手法

著者らは，FN コンの流動性を高める配（調）合設計の考え方として，余剰ペースト膜厚理論 [6]を参考にすることとした．FN コンにおいて，余剰ペースト膜厚理論を応用して最適な細骨材率（以下，*s/a*）を求めることで，高い流動性と所要の材料分離抵抗性の双方を確保できる配（調）合を設定できると考えた．

2.1 応用した余剰ペースト膜厚理論の概要

余剰ペースト膜厚理論は，C. T. Kennedy[6] が提唱し，T. C. Powers[7] によって整理された理論である．コンクリートをセメントペーストと骨材から構成される二相材料と捉え，ある容器内で充填状態にある骨材間空隙がペーストで満たされ，さらに余剰のペーストが存在するとき，骨材が分散されてコンクリートに流動性が付与されるという理論である．この理論は，三宅ら [8] によって低スランプ域の普通コンクリートの配（調）合設計に応用されている．三宅らは，この余剰ペースト膜厚理論を拡張し，図-1 に示すように，余剰ペーストは，骨材粒子表面に付着して流動に寄与しない付着ペーストと，流動に寄与する有効余剰ペーストに分割されると述べている．また，式[1]~[3] によって求められる，平均有効余剰ペースト膜厚粒径比（以下，膜厚比）によってスランプが評価でき，膜厚比が最大となる *s/a* でスランプが最大になることを明らかにした．

$$\delta_p = \frac{10^8(G_M - G_a)}{G_a \times \frac{s}{a} \times A_s + G_a \times \left(1 - \frac{s}{a}\right) \times A_g} \quad [1]$$

$$\delta_p' = \delta_p - \delta_a \quad [2]$$

$$\frac{\delta_p'}{d'} = \frac{\dfrac{10^8(G_M - G_a)}{G_a \times \dfrac{s}{a} \times A_s + G_a \times \left(1 - \dfrac{s}{a}\right) \times A_g} - \delta_a}{G_a \times \dfrac{s}{a} \times A_s \times 10^2 + 2\delta_a} \qquad [3]$$

ここに，δ_p：平均余剰ペースト膜厚（μm），G_M：混合骨材（S+G）の混合実積率の最大値（%），G_a：細骨材と粗骨材の合計体積がコンクリート体積中に占める比率（%），s/a：細骨材率（%），A_s：細骨材の比表面積（cm^2/cm^3），A_g：粗骨材の比表面積（cm^2/cm^3），δ_p'：平均有効余剰ペースト膜厚（μm），δ_a：平均付着ペースト膜厚（μm），δ_p'/d'：平均有効余剰ペースト膜厚粒径比，d'：平均有効粒径（μm）

2.2 提案する配（調）合設計手法の概要

三宅らは，主に低スランプ域のコンクリートにおいて，膜厚比によって求まる *s/a* を採用することで，コンクリートの流動性を高めることが可能であることを示した．一方で，著者らは膜厚比によって求まる *s/a* を，FN コンの配（調）合設計手法に採用することで，フレッシュコンクリートの流動性と材料分離抵抗性の双方を確保できると考えた．具体的には，膜厚比が最大となる条件では，流動性に寄与する平均有効余剰ペースト膜厚（δ_p'）が最大となり，目標とする流動性（スランプフロー）を得るために必要な化学混和剤の使用量が最小になると考えられる．また，化学混和剤の使用量を抑えることで，セメントペーストの降伏値の低下が抑制され，骨材の沈降や分離が生じにくくなることから，材料分離抵抗性の確保にも寄与すると考えられる．これにより，コンクリートとしては目標とするスランプフローを満足しながら，流動性が比較的低い，すなわち材料分離抵抗性が高いペーストで構成されたコンクリートが得られる．したがって，FN コンでは膜厚比が最大となる *s/a* で設計された配（調）合とすることにより，高い流動性と所要の材料分離抵抗性を有する，合理的なコンクリートが得られると考えられる．

2.3 平均有効余剰ペースト膜厚粒径比の算出

FN コンの配（調）合設計にあたり，2.1 節で示した膜厚比の算出を行う．基本的な配（調）合設計に必要な材料試験データの他に，（1）平均付着ペースト膜厚の算出，（2）混合骨材実積率の最大値の算出，（3）骨材比表面積の算出を行う必要がある．

(1) 平均付着ペースト膜厚の算出

三宅ら [8] が実施したモルタル試験を参考に，ミニスランプ（JIS A 1171：2020）を測定する．水セメント比（以下，W/C）を 3 水準以上で設定し，各々の W/C において，細骨材セメント重量比（以下，S/C）を 3 水準以上で各 3 回以上実施し，平均付着ペースト膜厚（δ_a）を算出する．

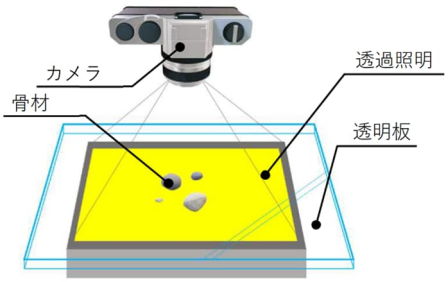


図-2 画像解析により骨材粒形を測定する手法

(2) 混合骨材実積率の最大値の算出

混合骨材実積率の最大値（G_M）を求めるにあたり，三宅ら [8] が実施した，*s/a* を変化させた細骨材・粗骨材混合物の実積率試験を JIS A 1104 により測定を行う．*s/a* を 0~100%の間で 7 水準以上設定し，得られた実積率から寺西ら [9] が整理した算出方法により混合骨材実積率と *s/a* の回帰式を得ることでG_Mを求める．

(3) 骨材比表面積の算出

骨材の比表面積については，精度の高い統一された測定方法が確立されておらず，三宅ら [8] は，ふるい分け試験を活用することで算出しており，骨材粒子を球と仮定している．骨材を球体と仮定すると，骨材の細長比や表面の形状を評価できず，比表面積の誤差が無視できなくなる．そのため，著者らは，細骨材の比表面積（A_s）と粗骨材の比表面積（A_g）を求めるにあたり，測定対象となる骨材の形状に着目し，画像解析により骨材粒形を測定する手法 [10] を活用して測定方法および算出方法を考案した．コンクリート用骨材へ適用するにあたり，**図-2** に示す通り測定環境は静止状態とし，骨材 1 粒ごとに，短径（mm），長径（mm），投影面積（mm^2）のデータを取得した．なお，測定に必要な試料の量は，各細骨材の代表試料の中から約 300 g，各粗骨材の代表試料の中から約 2 kg である．取得したデータから，平均粒形を算出し，式[4]を使用して骨材の体積あたり比表面積（A）を求める．なお，平均粒形の算出に際し，式[5]に示すように，骨材の細長さと表面形状を考慮した補正係数（k）を使用して補正を行う．

$$A = 6 \cdot \sum \frac{x_i}{100 \cdot a_i} \qquad [4]$$

$$a = \sqrt{\frac{S \cdot k}{\pi}} \qquad [5]$$

ここに，A：骨材の体積当たり比表面積＝A_s, A_g（cm^2/cm^3），x_i：ふるい目l_iとl_{i+1}の間にとどまる部分の百分率（%），a_i：ふるい目l_iとl_{i+1}の幾何平均による平均粒径（cm），a：骨材 1 粒の粒径（cm），S：骨材の短径を直径としたときの球の表面積（cm^3），k：骨材の細長さと表面形状を考慮した補正係数

2.4 配（調）合設計フロー

配（調）合設計フローの概要図を**図-3** に示す．まず初めに，配（調）合条件を設定する．設計基準強度や目標とする耐久性を考慮して W/C を定め，施工条件や配筋条件を考慮して目標 SF を設定し，土木学会コンクリート標準示方書や JASS 5 を参考に単位水量，空気量を設定する．その後，2.2 にて示した（1）平均付着ペースト膜厚の算出，（2）混合骨材実積率の最大値の算出，（3）骨材比表面積の算出を行う．得られた材料試験データを利用し，式(3)で示した，膜厚比が最大となる *s/a* を求める．これにより，初期配（調）合を設定し，試し練りへ進む．試し練りでは，流動性と材料分離抵抗性の評価としてスランプフロー試験（JIS A 1150）を行い，間隙通過性と自己充填性の評価として U 形充填試験（JSCE-F 511-2011）を実施する．基本的には，使用する化学混和剤（高性能 AE 減水剤）の量を調整することにより，目標品質が得られるように配（調）合の修正を行う．化学混和剤での調整が不可能な場合（NG の場合）は骨材の混合比率の調整を行い，材料試験から配（調）合設計のやり直しを行う．また，骨材調整でも配（調）合の調整が行えない場合（NG の場合），配（調）合条件設定からやり直しを行う．

3．室内試し練りによる配（調）合設計の確認

2.4 節で示した配（調）合設計手法の有効性を確認するために，FN コンの配（調）合設計および，室内試し練りを行う．

3.1 使用材料と配（調）合

使用材料を**表-1** に，2.2 節で示す材料試験の結果により決定した初期配（調）合を**表-2** に示す．W/C および単位水量は，土木学会コンクリート標準示方書 [11), 12)] において，耐久性照査を省略できる配（調）合条件の範囲の上限値である，W/C55%，単位水量175 kg/㎥を最大値として設定した．また，「締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計・施工指針（案）」[13)] に示す，SF 目標値である，SF55 cm においても FN コンを実現することを目指しており，配（調）合設計の対象とした．加えて，JIS A 5308 のスランプフロー区分の配（調）合における W/C45%（呼び強度 40 相当），SF60 cm と，W/C50%（呼び強度 36 相当），SF55 cm の配（調）合についても配（調）合設計を行い，室内試し練りを行った．なお，水セメント比 45%，50%，55%において，単位水量を 170 kg/㎥，175 kg/㎥とする組合せで配（調）合設計を行った．また，細骨材の混合比率は，質量比で S1：S2=70：30 とした．

3.2 試験方法と品質目標値

コンクリートの練混ぜは，強制二軸ミキサ（100 L）を使用し，1 バッチあたりの練混ぜ量は 80 L で行い試験に供した．材料は，1/2G＋S1＋C＋S2＋1/2G の順番で投入し，空練りを 15 秒行った後，混和剤を混入した水を投入

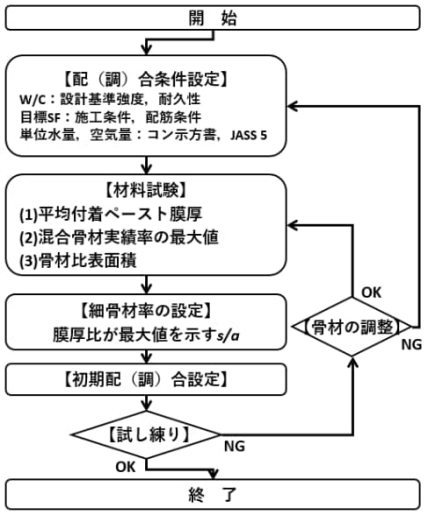


図-3 配（調）合設計フロー概要図

表-1 使用材料（室内試し練り）

材料	記号	種類・物性
水	W	上水道水・井戸水混合
セメント	C	普通ポルトランドセメント，密度3.16 g/cm^3
細骨材	S1	山砂，表乾密度2.59 g/cm^3，絶乾密度2.52 g/cm^3，粗粒率2.38
	S2	石灰砕砂，表乾密度2.69 g/cm^3，絶乾密度2.64 g/cm^3，粗粒率3.06
粗骨材	G	硬質砂岩砕石2005，表乾密度2.64 g/cm^3，絶乾密度2.63 g/cm3，粗粒率6.69，実積率61.0%
混和剤	SP	高性能AE減水剤，ポリカルボン酸系化合物
	AE	AE剤，アニオン界面活性剤

表-2 配（調）合表とフレッシュ試験結果（室内試し練り）※1

No.	配（調）合条件 W/C (%)	s/a※2 (%)	目標 SF (cm)	目標 Air (%)	単位量(kg/㎥) C	W	S1	S2	G	SP	AE	フレッシュ試験結果 スランプフロー試験 SF (cm)	SF_{50} (s)	SF_{st} (s)	Air (%)	CT (℃)	充填試験（U形_R2障害） U_H (mm)	U_{300} (s)	U_{st} (s)
1	45	53.5	60 ±5	4.5 ±1.5	378	170	645	288	816	3.31	1.51	58	3.7	16.1	5.1	22	365	2.5	8
2		53.6			389	175	637	285	805	2.82	1.75	58	3.4	15.2	5.3	21	369	1.8	9.5
3	50	54.1	55 ±5		340	170	663	296	821	2.55	1.36	51	4.1	11.4	5.2	21	355	2.2	7.1
4		54.0			350	175	655	291	813	2.54	1.4	58.5	2.8	13.1	4.4	21	365	1.6	8.3
5	55	54.4	50 ±5		310	170	679	301	826	2.33	1.09	48.5	—	7.3	4.9	21	319	5.4	8.3
6		54.3			319	175	668	299	818	2.15	1.12	49.5	3.6	7.6	4.6	21	331	3.2	3.3

※1 記号の説明は**表−3**による　※2 式(1)～(5)により算出した膜厚比から求めた値

表-3 試験項目と品質目標値（室内試し練り）

試験項目		試験方法	No.	品質目標値
スランプフロー試験(SF) [50cm到達時間(SF50)，停止時間(SFst)]		JIS A 1150	1, 2	SF 60 ± 5cm
			3, 4	SF 55 ± 5cm
			5, 6	SF 50 ± 5cm
空気量試験（Air）		JIS A 1128	全て	4.5 ± 1.5%
コンクリート温度(CT)		JIS A 1156：2014	全て	5~38℃
高流動コンクリートの充填試験（U形_R2障害）[300mm到達時間(U_{300})，充填時間(Ust)，充填高さ3点平均（UH）]		JSCE-F 511*	全て	充填高さ300mm以上
材料分離	粗骨材の偏在の有無	スランプフロー試験後の目視評価	全て	材料分離がみられないこと
	セメントペーストや遊離した水の偏在の有無			

＊： UH300mm以上は目標値．300mmに到達しない場合，1回に限り，JIS A 8610に規定されている電動機外部駆動式の手持形振動機（呼び径28mm，長さ580mm以上，振動数200～270Hz）を振動させながら試料の上面中央からゆっくりと容器の底からの高さ300mmまで挿入して5秒間加振を行い，その時の上昇高さをUH，300mm到達時間をU_{300}とする。

し，90 秒間練り混ぜた．ミキサからの排出直後に切り返しを行った後，5 分間静置し，さらに切り返しを行った後にフレッシュ試験を行った．

試験項目，方法および品質目標値を**表-3** に示す．高流動コンクリートの充填試験における品質目標値は，土木学会の高流動コンクリートの配合設計・施工指針 [14] にて示される，ランク 2 を目標とした．そのため，R2 障害を使用し，充填高さの目標値を 300 mm 以上とした．ただし，2.2 節で示した通り，本配（調）合設計手法は，軽微な振動・締固めを行って充填される FN コンまで設計できる手法として考案した．そのため，充填高さが 300 mm に到達しない場合，1 回に限り，JIS A 8610 に規定されている電動機外部駆動式の手持形振動機（呼び径 28 mm，長さ 580 mm 以上，振動数 200～270 Hz）を振動させながら試料の上面中央からゆっくりと，容器の底からの高さ 300 mm まで挿入して 5 秒間加振を行い，上昇高さと 300 mm 到達時間を測定した．材料分離を生じずに上昇高さ 300 mm に到達することを確認し，充填性の評価を行った．また，材料分離抵抗性の確認として，スランプフロー試験における分離状況を目視で確認した．

3.3 試験結果

試験結果を**表-2** に示す．全配（調）合において，スランプフローと空気量，U 形充填試験装置の充填高さが品質目標値を満足した．また，**図-4** に示すように，スランプフロー試験後のコンクリートの目視評価を行った結果，全配合において粗骨材やセメントペースト，遊離した水の偏在は見られず，材料分離は確認されなかった．また，50 cm フロー到達時間（SF_{50}）は，全配（調）合において 2.8~4.1 秒であった．これは，土木学会の指針 [14] における粉体系や増粘剤系，併用系の高流動コンクリートがランク 2 において 3~15 秒であることから，粘性が比較的低いコンクリートであったと考えられる．

4. レディーミクストコンクリート工場での配（調）合設計の試行検証

2.4 節で示し，3 章にて用いた配（調）合設計手法を採用し，レディーミクストコンクリート工場において FN コンが製造可能であることを，室内試験練りおよび実機試験練りで確認する．

4.1 使用材料と配（調）合

使用材料を**表-4** に，2.3 節で示す材料試験の結果により決定した初期配（調）合を**表-5** に示す．No.7 は，水セメント比 55%，単位水量 175 kg/m^3，スランプフロー55 cm とし，土木学会コンクリート標準示方書において，耐久性の性能照査を省略できる上限で配（調）合を設定した．また， JIS A 5308 における FN コンの配（調）合を設定するために，スランプフロー45 cm，50 cm，55 cm，60 cm の配（調）合において，呼び強度が最小のコンクリート（No.8~11）について試験練りを実施した．実機試験練りでは，実機製造時における品質を安全側で確認するため，

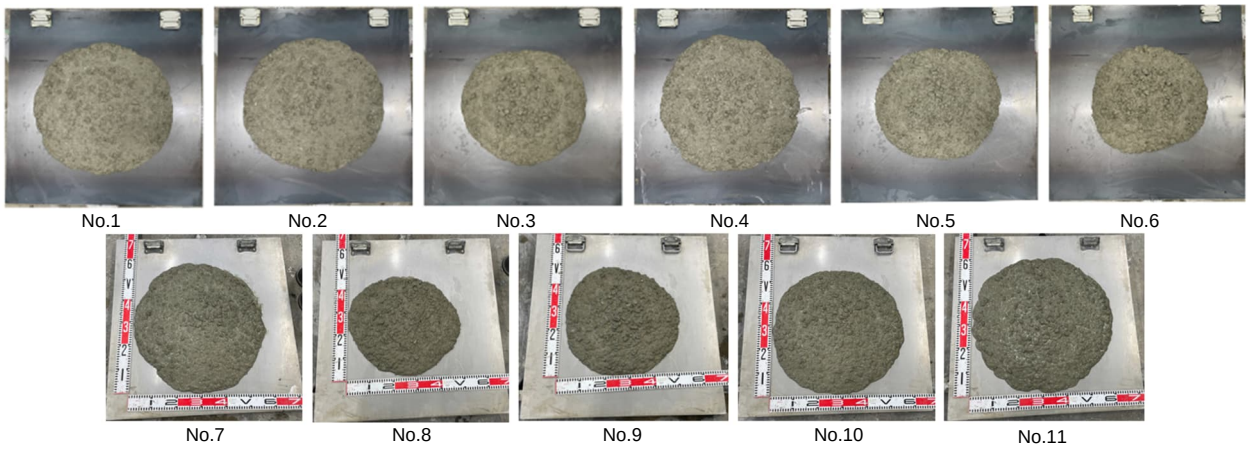


図-4 スランプフロー試験後のコンクリート
(上段：室内試し練り，下段：市中レディーミクストコンクリート工場の室内試験練り)

表-4 使用材料（市中レディーミクストコンクリート工場の試験練り）

材料	記号	種類・物性
水	W	地下水
セメント	C	普通ポルトランドセメント，密度3.16 g/cm^3
細骨材	S1	山砂，表乾密度2.59 g/cm^3，絶乾密度2.54 g/cm^3，粗粒率2.31
	S2	砕砂，表乾密度2.66 g/cm^3，絶乾密度2.62 g/cm^3，粗粒率3.76
粗骨材	G1	硬質砂岩砕石2005，表乾密度2.68 g/cm^3，絶乾密度2.65 g/cm3，粗粒率6.58，実積率59.2%
	G2	石灰砕石2005，表乾密度2.69 g/cm^3，絶乾密度2.68 g/cm3，粗粒率6.61，実積率62.5%
混和剤	SP	高性能AE減水剤，ポリカルボン酸エーテル系化合物と分子間架橋ポリマーの複合体
	AE	AE剤，アルキルエーテル系陰イオン界面活性剤

表-5 配（調）合表とフレッシュ試験結果（市中レディーミクストコンクリート工場の室内試験練り）※1

No.	配（調）合条件 W/C (%)	s/a※2 (%)	目標 SF (cm)	目標 Air (%)	単位量(kg/m^3) C	W	S1	S2	G1	G2	Ad	AE	フレッシュ試験結果 スランプフロー試験 SF (cm)	SF_{50} (s)	SF_{st} (s)	Air (%)	CT (℃)	充填試験（U形_R2障害） UH (mm)	U_{300} (s)	U_{st} (s)
7	55	50.1	55±10	4.5±1.5	318	175	663	226	452	456	3.18	1.27	58	2.8	16.9	4.4	18	334	2.6	10.4
8	55.5	50.1	45±7.5		307	170	673	229	458	462	3.84	1.54	47	—	10.9	4.1	18	298	11	16.2
9	48	49.2	50±7.5		355	170	645	221	455	462	4.08	1.6	51	6.2	14.3	3.8	19	329	4.7	12.2
10	45.5	48.8	55±10		374	170	634	215	455	462	4.39	1.68	58.5	3.6	18.6	4.1	19	341	3.5	13.1
11	42	48.2	60±10		405	170	619	210	452	459	4.86	1.82	61	3.7	21.9	4.4	19	346	2.7	14

※1 記号の説明は**表－6**による　※2 式(1)～(5)により算出した膜厚比から求めた値

単位セメント量が比較的少なく，材料分離抵抗性の確保が厳しいと考えられる No.7 および No.8 を対象とした．骨材の混合比率は，レディーミクストコンクリート工場のスランプ 21 cm の普通コンクリートの配（調）合を参考に決定し，容積比で細骨材を S1：S2=75：25，粗骨材を G1：G2=50：50 とした．

4.2 試験方法と品質目標値

室内試験練りにおけるコンクリートの練混ぜは，容量 55 L の強制二軸ミキサを使用し，1 バッチあたりの練混ぜ量を 40 L として 2 バッチ練り，全体で 80 L として試験に供した．材料は，G1＋S1＋C＋S2＋G2 の順で投入し，空練りを 10 秒行った後，混和剤を混入した水を投入し，60 秒間練り混ぜた．ミキサからの排出直後に切り返しを行った後，5 分間静置し，さらに切り返しを行い，フレッシュ試験を行った．

実機試験練りにおけるコンクリートの練混ぜは，容量 3.3 ㎥の強制二軸ミキサを使用し，1 バッチ当たりの練混ぜ量を 1.5 m^3 として 2 バッチ練り，全体で 3.0 m^3 とした．全材料を一括投入し，90 秒間練混ぜを実施した．

試験項目，方法および品質目標値を**表-6** に示す．充填試験は，3.2 で述べたように，充填高さが 300 mm に到達しない場合，1 回に限り加振を行い充填性の確認を行った．また，実機試験では経時変化を確認し，注水より 5, 30, 60, 90, 120 分でフレッシュ試験を実施した．なお，試験時期は標準期で行った．

4.3 試験結果

室内試験練りの結果を**表-5** に示す．全配（調）合において，スランプフローと空気量の品質目標値を満足することができた．なお，No.8 の U 形充填試験装置の充填高さは 298 mm であり，300 mm に達していない．しかしながら，加振を行って充填高さの 300 mm 到達時間を測定することが困難なため，加振は行わなかった．また，図-4 に示すように，スランプフロー試験後のコンクリートの目視評価を行った結果，全配（調）合において，スランプフロー試験後の目視評価にて材料分離は確認されなかった．SF_{50}は 2.8~6.2 秒の範囲であり，比較的粘性が低いコンクリートが得られたと考えられる．

実機試験練りの結果を**表-7** に示す．また，スランプフロー試験の経時変化を**図-5** および**図-6** に，空気量試験の経時変化を**図-7** に，高流動コンクリートの充填試験の経時変化を**図-8** に示す．全ての配（調）合において，スランプフローと空気量は経過時間 120 分まで品質目標値を満足する結果となった．また，各配合，各経過時間において，スランプフロー試験後の目視評価にて材料分離は確認されなかった．No.7 は，U 形充填試験装置の充填高さが品質目標値を満足しており，No.8 は，加振を行うことで，U 形充填試験装置の充填高さが容易に 300 mm を到達し，材料分離が生じていないことを目視で確認することができた．SF_{50}は，No.7 において経時 120 分までで 3.1~4.9 秒であり，比較的粘性が低いコンクリートが得られたと考えられる．また，配（調）合の調整は，化学混和剤（高性能 AE 減水剤）の添加量の調整のみで行うことが可能であった．

以上のことから，市中のレディーミクストコンクリート工場においても，室内試験練りおよび実機試験練りを通じて本配（調）合設計手法の有効性を確認することができたものと考える．

5．実大規模の施工実験

4 章で配（調）合および試験練りを行った FN コンの施工性を把握することを目的として，コンクリートポンプ車による吊るし打ちで床部材を施工することを想定した実大規模の施工実験を行い，落下および水平流動が FN コンの材料分離に及ぼす影響を確認するとともに，土間コンクリートの施工を通じて FN コンの施工性を検証した結果について述べる．

表-6 試験項目と品質目標値（市中レディーミクストコンクリート工場の試験練り）

試験項目		試験方法	No.	品質目標値
スランプフロー試験(SF) [50cm到達時間(SF50)，停止時間(SFst)]		JIS A 1150	7	SF 55 ± 5cm
			8	SF 45 ± 7.5cm
			9	SF 50 ± 7.5cm
			10	SF 55 ± 7.5cm
			11	SF 60 ± 10cm
空気量試験（Air）		JIS A 1128	全て	4.5 ± 1.5%
コンクリート温度(CT)		JIS A 1156：2014	全て	5~38℃
高流動コンクリートの充填試験（U形_R2障害） [300mm到達時間(U_{300})，充填時間(Ust)，充填高さ3点平均（UH）]		JSCE-F 511*	全て	充填高さ300mm以上
材料分離	粗骨材の偏在の有無	スランプフロー試験後の目視評価	全て	材料分離がみられないこと
	セメントペーストや遊離した水の偏在の有無			

＊： UH300mm以上は目標値．300mmに到達しない場合，1回に限り，JIS A 8610に規定されている電動機外部駆動式の手持形振動機（呼び径28mm，長さ580mm以上，振動数200～270Hz）を振動させながら試料の上面中央からゆっくりと容器の底からの高さ300mmまで挿入して5秒間加振を行い，その時の上昇高さをUH，300mm到達時間をU_{300}とする。

表-7 フレッシュ試験結果（市中レディーミクストコンクリート工場の実機試験練り）

No.	注水からの経過時間（min）	スランプフロー試験 SF (cm)	SF_{50} (s)	SF_{st} (s)	Air (%)	温度(°C) CT	温度(°C) 外気	充填試験（U形_R2障害） UH (mm)	U_{300} (s)	U_{st} (s)
7	5	58	3.1	9.2	4.5	16	16	331	1.2	5
	30	59	3.1	10	4.2	16	16	346	1	4.6
	60	57	3.4	9.8	4.2	17	16	334	1.2	4.4
	90	56	4	8.9	4	17	16	327	1.3	3.9
	120	52	4.9	7.3	4.8	17	16	322	1.3	3.9
8	5	51	—	5.7	4.6	16	14	269	—	4.2
								356	1.3	—
	30	50	—	5.8	4.3	16	14	296	3.8	5
	60	48	—	4.2	4	16	15	292	—	3.4
								358	0.7	—
	90	48	—	3.2	4.5	16	15	273	—	3.7
								349	1.4	—
	120	43	—	3.3	4.2	16	15	240	—	3.3
								352	1.9	—

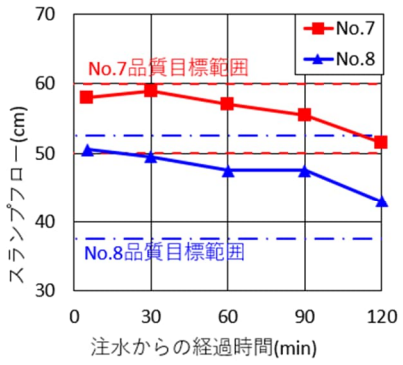


図-5 スランプフローの経時変化

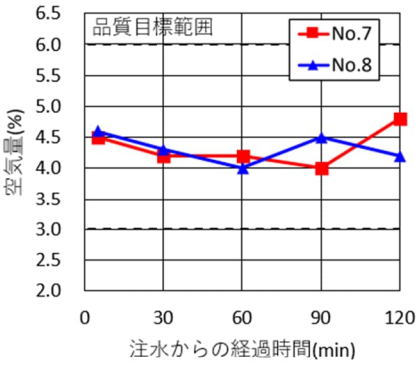


図-7 空気量の経時変化

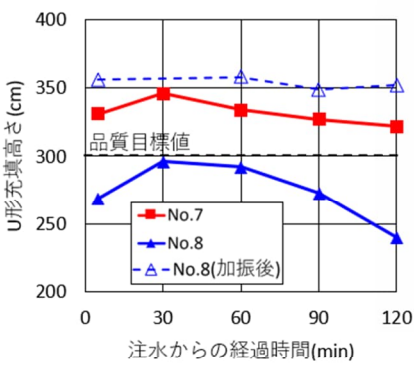
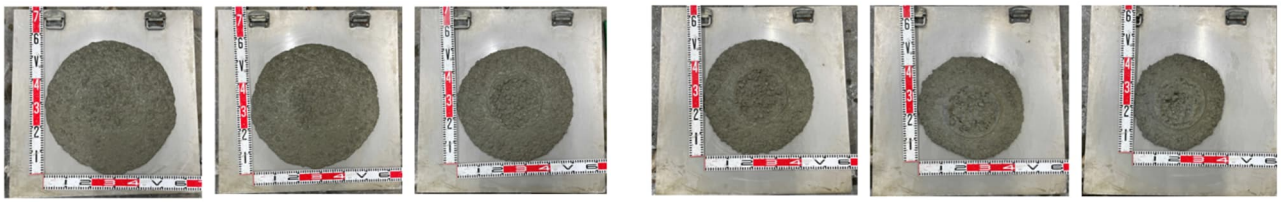


図-8 U 形充填高さの経時変化



No.7 5 分後　No.7 60 分後　No.7 120 分後　No.8 5 分後　No.8 60 分後　No.8 120 分後

図-6 スランプフロー試験後のコンクリート
（市中レディーミクストコンクリート工場の実機試験練り）

表-8 使用材料(施工実験)

材料	記号	種類・産地
水	W	地下水
セメント	C	普通ポルトランドセメント，密度3.16 g/cm^3
細骨材	S1	山砂，表乾密度2.60 g/cm^3，粗粒率2.33
	S2	石灰岩砕砂，表乾密度2.67 g/cm^3，粗粒率3.73
粗骨材	G1	硬質砂岩砕石2005，表乾密度2.66 g/cm^3，粗粒率6.58，実積率58.9%
	G2	石灰砕石2005，表乾密度2.69 g/cm^3，粗粒率6.62，実積率61.2%
混和剤	SP	高性能AE減水剤
	AD	AE減水剤

表-9 コンクリートの配（調）合(施工実験)

コンクリート	呼び強度	目標SF*1 (cm)	目標SL*2 (cm)	目標空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	SP (C×%)	AD (C×%)	単位量(kg/m^3) W	C	S1	S2	G1	G2
FNコン	27	45±5.0	—	4.5±1.0	55.5	50.1	1.45	—	170	307	673	229	458	462
SLコン		—	15±1.5		54.0	46.0	—	1.00	175	324	606	207	487	494

*1：目標スランプフロー，*2：目標スランプ

5.1 実験概要

(1) コンクリートの使用材料および配（調）合

本実験で検証する FN コンは，呼び強度 27，スランプフロー45cm の普通コンクリートとした．また，比較のためのコンクリートは，呼び強度 27，スランプ 15 cm の SL コンとした．使用材料を**表-8** に，コンクリートの配（調）合を**表-9** に示す．

(2) 材料分離試験の概要

FN コンにおける落下および水平流動による材料分離試験の概要を**図-9** に示す．

落下試験では，コンクリートポンプ車のブーム内を満管とした後，吊下げたフレキシブルホースから約 80 L（1 ピストン分）のコンクリートを落下させた．落下高さは 1.5 m および 3.0 m の 2 水準とし，圧送速度は 20 m³/h とした．落下時は，空気圧によりホース内のコンクリートを制御するエアシャッターバルブを用いた．落下後，一体となっているコンクリートおよび飛散したコンクリートを採取した．

水平流動試験では，6.0 m×6.0 m×H300 mm の試験体を用い，無筋および D13 鉄筋を 100 mm 間隔で配筋した有筋の 2 水準を設定した．コンクリートは，試験体中央に吊り下げたフレキシブルホースから，圧送速度 30 m³/h，落下高さ 1.0 m で打ち込み，試験体中央部から水平方向に流動させた．無筋では，無加振で流動が停止した後に，コンクリートの天端高さを測定するとともに，粗骨材量比率を算出するための試料を採取した．有筋では，無加振で流動が停止した時点で同様の測定および試料採取を行った後，加振して再び流動させ，流動停止後に再度，天端高さの測定および試料採取を行った．コンクリートの天端高さは，試験体中心から 0，500，1000，1500，2000，2500 および 3000 mm の位置で測定した．粗骨材量比率を算出するための試料は，試験体底板から高さ 40 mm 以下では中心から 0，750 および 1,500 mm，高さ 80 mm 以上では中心から 0，750，1500，2250 および 3000 mm の位置において，それぞれ同一直線上から採取した．

(3) 施工性比較試験の概要

FN コンと SL コンにおける施工性比較試験の要因と水準を**表-10** に示す．FN コンは，吊るし打ちを考慮のうえ材料分離抵抗性を備えた配合としているが，高い流動性を有することから，従来の棒状バイブレータによる締固めに代わり，軽便バイブレータや振動機付き定規を用いた効率的な施工によっても充填できる可能性がある．また，FN コンを用いて効率的な施工をすることにより省人

化が可能と考えられる．これらを確認するため，8,000×4,500×H200mm の土間を 3 水準の方法で施工した．

在来施工では，SL コンを使用し，寝かせ打ちにより打込みを行い，高周波バイブレータで締固めた後，定規による均しを実施した．効率施工①では，FN コンを使用して，吊るし打ちによって打込みを行い，コードレス軽便バイブレータで締固め，振動機付き定規を用いて均しを行った．効率施工②では，効率施工①からコードレス軽便バイブレータを除いた方法で施工を行った．

5.2. 実験結果および考察

(1) 材料分離試験の結果

落下試料の飛散状況および残存率[5]と粗骨材量比率[5]を**図-10** に示す．残存率は，落下高さ 1.5m および 3.0m では 98%以上を示し，既往の研究[5]とほぼ同じ値である．また，飛散状況から大きな飛散はみられず，圧送速度 20m³/h の吊るし打ちでは試料がほとんど飛散しないことが確認できた．また，粗骨材量比率は，落下高さ 1.5 m の西側で 114%と他の測定値から乖離した値を示したものの，その他の測定値は計画配（調）合に対しておよそ－2%～＋7%の範囲であった．西側の 114%は他の測定値との乖離が大きいことから，試料採取時のばらつき等の影響を受けた可能性が考えられる．したがって，全体としては打込み後の試料の均一性が概ね保たれていると考えられる．

中心からの水平位置とコンクリート天端高さの関係を，既往研究[5]の結果も併せて**図-11** に示す．無筋および有筋の試験体ともに，既往研究[5]と比べて流動勾配が大きくなったが，これは既往研究[5]のコンクリートがスランプフロー55cm であったことによる．FN コンはスランプフロー45cm であるが，無筋の試験体では自重作用のみで 3m 水平流動した．有筋の試験体では，先端が 2.5m 付近で自重作用による水平流動が止まった．そのため，バイブレータで加振したが，天端がわずかに下がるものの顕著な水平方向への流動はみられなかった．スランプフロー45cm のコンクリートであっても，配筋条件によっては打込み時に補助的に振動を与える必要があると考えられる．中心からの水平位置と粗骨材量比率の関係を**図-12** に示す．配筋の有無にかかわらず各水平位置での粗骨材量比率は 90%以上であった．土木学会の指針(案)[13]によると，粗骨材量比率が 80%以上であれば硬化体への影響は小さいと示されており，本試験結果から水平流動が 2.25m までは粗骨材分離の可能性は小さいと言える．



図-9 落下および水平流動による材料分離試験の概要

表-10 施工性比較試験の要因と水準

要因	水準	コンクリート	
		SL コン	FN コン
施工方法	従来の施工方法 (寝かせ打ち･高周波バイブレータ･定規)	在来施工	―
	効率的な施工方法① (吊るし打ち･コードレス軽便バイブレータ･振動機付き定規)	―	効率施工①
	効率的な施工方法② (吊るし打ち･振動機付き定規)	―	効率施工②

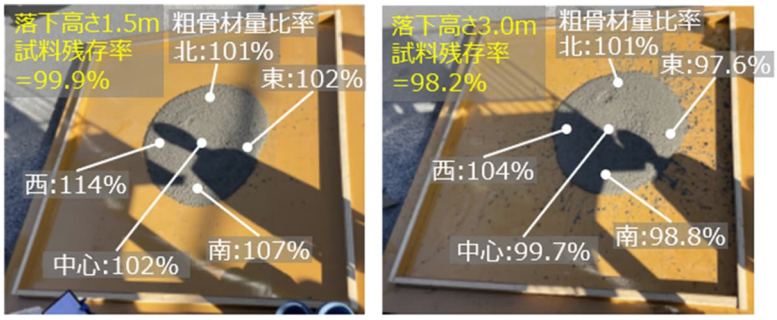


図-10 落下試料の飛散状況および残存率と粗骨材量比率

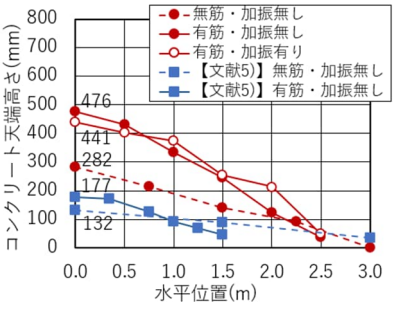


図-11 水平位置とコンクリート天端高さの関係

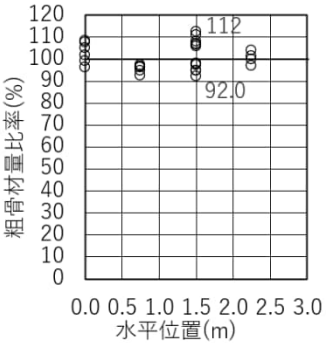


図-12 水平位置と粗骨材量比率の関係

(2) 施工性比較試験の結果

土間コンクリートの施工状況を**図-13** に，歩掛結果を**表-11** に示す．在来施工は作業人員として 6 人が必要であったが，効率施工①は 4 人，効率施工②は 3 人と省人化できた．コンクリートポンプ車の吐出量は 30m³/h の設定で圧送したが，実圧送時間は FN コンが短くなった．打込みから均し終了までの時間は効率施工①が最も短く，次に効率施工②となり，在来施工に対する作業時間の削減率は効率施工①で 12%程度，効率施工②で 7%程度であった．効率施工②は，バイブレータがないため振動機付き定規での振動締固めに時間を要した．土間試験体切断面の充填状況を**図-14** に示す．効率施工①および②ともに，コンクリートは密実に充填されていることが確認された．ただし，効率施工②の型枠際に一部豆板が認められたことから，スランプフロー45cm のコンクリートにおいても型枠際は締固めを実施することが望ましい．

6．実工事への適用

FN コンの実工事における施工性および生産性向上効果を確認することを目的として，2.4 節に示した配（調）合設計手法を用いてレディーミクストコンクリート工場における配（調）合の設定および試験練りを行った後，物流センター新築工事の 1F 構造体床スラブの一部に適用した．本章では，試験練りおよび実工事への適用結果を示すとともに，FN コンの打込み，締固めおよび均し作業の効率を SL コンと比較した結果について述べる．

6.1 実工事適用のための試験練り

(1) 室内試験練り

実工事に適用する FN コンにおいて室内試験練りを実施し，フレッシュ性状および強度の確認を行った．床部材への適用にあたり，ひび割れ防止を目的として膨張材を



図-13 土間コンクリートの施工状況

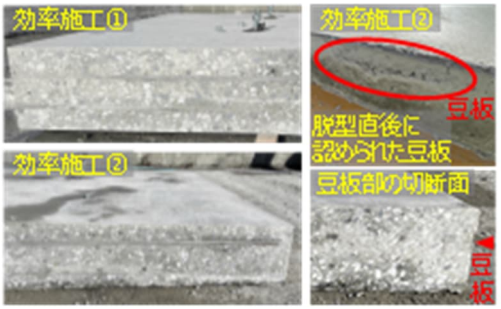


図-14 土間試験体切断面の充填状況

表-12 実工事に適用した FN コンの配（調）合表

	呼び強度	目標スランプフロー (cm)	目標空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	SP (C×%)	単位量(kg/m³) W	C	AD	S1	S2	G
試し練り	27	45±7.5	4.5±1.5	55.8	55.3	1.35	175	314	－	588	397	809
室内試験	27	45±7.5	4.5±1.5	55.8	55.3	1.50	175	314	20	580	389	809
実機試験						1.45						

使用材料	水	W	地下水
	セメント	C	普通ポルトランドセメント 密度3.16 g/cm³
	混和材	AD	膨張材 密度3.16 g/cm³
	細骨材(容積比6:4)	S1	山砂 千葉県君津市 表乾密度2.60 g/cm³
		S2	砕砂 埼玉県秩父郡 表乾密度2.63 g/cm³
	粗骨材	G	硬質砂岩砕石2005 神奈川県相模原市 表乾密度2.66 g/cm³
	混和剤	SP	高性能AE減水剤

表-11 歩掛結果

施工方法	在来施工	効率施工①	効率施工②
作業人員(人)	6	4	3
圧送時間(分)	18.5	16.1	16.5
打込みから均し終了までの時間(分)	22.1	19.4	20.6
在来施工に対する作業時間削減率(%)	－	12.2	6.9

表-13 試験項目，方法および品質管理値

試験項目		試験方法	品質管理値
スランプフロー試験（SF）［50cm到達時間（SF_{50}），停止時間（SF_{st}）］		JIS A 1150	SF±7.5cm
空気量試験（Air）		JIS A 1128	4.5±1.5%
コンクリート温度測定（CT）		JIS A 1156	5～35℃
高流動コンクリートの充填試験（U形・R2障害）[300mm到達時間(U_{300})，充填時間(U_{st})，充填高さ3点平均（UH）]		JSCE-F 511*	UH300mm以上*
材料分離	粗骨材の偏在の有無	SF試験後の目視評価	材料分離がみられないこと
	セメントペーストや遊離した水の偏在の有無		
圧縮強度試験［標準養生，材齢28日（F_{28}）］		JIS A 1108	F_{28}≧27N/mm²

* UH300mm以上は目標値．300mmに到達しない場合，1回に限り，JIS A 8610に規定されている電動機外部駆動式の手持形振動機（呼び径28mm，長さ580mm以上，振動数200～270Hz）を振動させながら試料の上面中央からゆっくりと容器の底からの高さ300mmまで挿入して5秒間加振を行い，その時の上昇高さをUH，300mm到達時間をU_{300}とする。

表-14 各試験練りにおける試験結果

		フレッシュ試験								強度試験
		スランプフロー試験			Air (%)	CT (℃)	充填試験			F_{28} (N/mm²)
		SF (cm)	SF_{50} (s)	SF_{st} (s)			UH (mm)	U_{300} (s)	U_{st} (s)	
試し練り		47.0	－	14.1	4.1	26	261	－	11.0	35.3
							347	2.28	－	
室内試験		47.0	－	13.9	4.4	26	286	－	14.1	38.2
							358	0.78	－	
実機試験	5分	43.5	－	7.7	5.3	21	289	－	8.09	－
							359	1.08	－	
	30分	47.5	－	8.9	5.2	21	311	3.28	7.12	－
	60分	49.0	－	9.7	5.1	21	318	2.06	7.65	39.4
	90分	50.5	－	10.2	5.3	21	312	3.49	7.98	－
	120分	48.0	－	8.9	4.9	21	297	6.13	8.89	－

使用した．配（調）合表を**表-12**（膨張材は外割・細骨材置換）に，試験項目，方法および品質管理値を**表-13** に示す．コンクリートの練混ぜは，4.2 節と同様に行った．各試験結果を**表-14** および**図-15** に示す．その結果，いずれの試験結果も品質管理値を満足しており，材料分離も認められなかった．

(2) 実機試験練り

実工事に FN コンを適用するにあたり，実機による製造とフレッシュ性状の経時変化および強度の確認を行った．レディーミクストコンクリート工場から現場までの運搬時間は 40～50 分のため，注水 60 分後の品質を管理目標とした．コンクリートの練混ぜは，強制二軸ミキサ(3.3m^3)を使用し，材料を一括投入して 60 秒間行った．試験項目，方法および品質管理値は**表-13** に示すとおりであり，フレッシュ試験を注水から 30 分ごとに 120 分後まで実施した．試験結果を**表-14** および**図-15** に示す．管理目標である注水 60 分後の試験結果は，いずれも品質管理値を満足した．また，注水 120 分後まで全ての試験結果は品質管理値を満足し，材料分離についても注水 120 分後まで認められなかった．

6.2 実工事への適用

(1) 工事概要

工事概要を**表-15** に示す．FN コンは構造体床スラブの一部に使用し，SL コンは本工事の設計で構造体床スラブに指定されている仕様（Fc=24N/mm^2，スランプ 15cm）のコンクリートである．

(2) コンクリートの配（調）合および使用材料

SL コンの配（調）合を**表-16** に示す．FN コンは，6.1 で示した実機試験で使用したものと同一である．SL コンの品質管理値は，スランプ（SL）が 15 ± 2.5cm，空気量が 4.5 ± 1.5%，圧縮強度（F_{28}：材齢 28 日標準養生強度）が呼び強度（27）以上である．また，FN コンの品質管理値は，スランプフロー（SF）が 45 ± 7.5cm であり，他は SL コンと同様である．

(3)施工性の比較

コンクリートの打込み・締固め・均しにおける施工性の比較の要因と水準および打込み箇所の施工条件を**表-17** に示す．実大規模の施工検証 [15] を参考とし，在来施工では，寝かせ打ちにより打込みを行い，高周波バイブレータで締固めた後，定規による均しを実施した．効率施工 A では，吊るし打ちを採用した点を除き，在来施工と同様の方法で施工した．一方，効率施工 B では，吊るし打ちによって打込みを行い，コードレス式バイブレータで締固め，振動機付き定規を用いて均しを行った．なお，いずれの施工方法においても，仕上げは金ごて押さえとした．

在来施工と効率施工では，異なる水準および施工条件下で歩掛を調査した．なお，施工時期の違いが結果に影響を及ぼさないように，**表-17** で示した施工方法による打込み作業は全て 2 週間以内に実施した．

(4) 受入検査および強度試験の結果

受入検査および強度試験の結果を**表-18** に示す．全ての施工方法において，フレッシュ試験が表-13 に示す品質管理値を満足したことを確認し，打込みを行った．また，圧縮強度試験においても，全ての施工方法で品質管理値を満足した．

(5) 施工状況と仕上がり状態

表-19 に各施工方法における歩掛調査結果を示す．在来施工では，作業人員は 20 人で作業を行ったため，錯綜した状況で打込みおよび締固めを行った．作業員の内訳は，

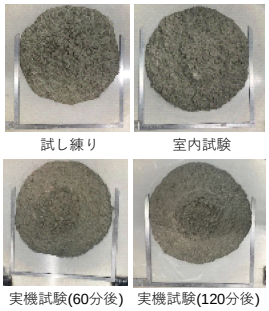


図-15 スランプフロー試験後のコンクリート状況

表-16 SL コンの配（調）合表および使用材料

	呼び強度	目標 SL(cm)	目標空気量(%)	W/C (%)	s/a (%)	SP (C×%)	単位量(kg/m^3) W	C	AD	S1	S2	S3	G1	G2	G3
SLコン	27	15 ± 1.5	4.5 ± 1.5	52.3	46.6	1.00	175	335	20	321	160	323	283	292	383

使用材料	水	W	地下水
	セメント	C	普通ポルトランドセメント　密度3.16
	混和材	AD	膨張材　密度3.16
	細骨材 (容積比4:2:4)	S1	砕砂　山梨県大月市　表乾密度2.61
		S2	山砂　千葉県富津市　表乾密度2.57
		S3	砕砂　神奈川県相模原市　表乾密度2.62
	粗骨材 (容積比3:3:4)	G1	硬質砂岩砕石2005　山梨県大月市　表乾密度2.62
		G2	石灰砕石2005　埼玉県秩父郡　表乾密度2.70
		G3	硬質砂岩砕石2005　神奈川県相模原市　表乾密度2.66
	混和剤	SP	AE減水剤

表-18 受入試験および強度試験の結果

施工方法	フレッシュ試験 SL/SF (cm)	空気量 (%)	CT※ (℃)	外気温 (℃)	強度試験 F_{28} (N/mm^2)
在来施工	16.0	3.8	20	12	41.3
	17.5	4.5	20	13	43.0
	16.5	4.3	22	14	43.7
効率施工A	45.5	3.6	19	13	40.8
	51.5	3.2	19	14	38.8
	52.5	3.7	19	14	39.6
効率施工B	46.0	5.5	20	15	36.7
	48.0	4.5	21	15	35.1
	49.5	4.1	20	15	36.0

※CT：コンクリート温度

表-15 工事概要

項目	概要
建設用途	物流センター
工事場所	神奈川県
施工	前田建設工業株式会社
構造	RCS造，地上5階
建築面積	約17,000m^2
延床面積	約70,000m^2
最高高さ	約35m

表-17 施工性比較の要因と水準および施工条件

要因	水準	労務量	コンクリート SLコン	コンクリート FNコン	施工条件 床面積 (m^2)	施工条件 打込み数量 (m^3)	施工条件 吐出量 (m^3/h)
施工方法	在来の施工方法　（寝かせ打ち，高周波バイブレータ，定規）	大	在来施工	－	254.8	51.0	60
	効率的な施工方法A（吊るし打ち，高周波バイブレータ，定規）	中	－	効率施工A	166.8	33.4	40
	効率的な施工方法B（吊るし打ち，コードレス式バイブレータ，振動機付き定規）	小	－	効率施工B	166.8	33.4	40



図-16 効率施工 B の仕上がり状況
（左：翌朝，右：4 か月後）

表-19 歩掛測定結果

		在来施工	効率施工A	効率施工B
作業人員	圧送工	3	2	2
	土工	5	5	2
	土間工	12	7	4
	合計	20	14	8
実質打込み作業時間(h)		0.9	0.7	0.7
実質打込み床面積(m^2)		254.8	103.2	112.7
一人時間当たりの打込み床面積(㎡/(h・人))		14.6	10.2	21.7
在来施工との比		1.0	0.7	1.5

圧送工が 3 人（筒先 1 人，補助 2 人），土工が 5 人（高周波バイブレータ操作 2 人，バイブレータ補助 2 人，洗い 1 人），土間工が 12 人（レベル観測 1 人，レベル補助 1 人，かっぱぎ 6 人，定規による均し 3 人，電動スクリードによる均し 1 人）であり，抜き打ちで歩掛の調査を行った．

効率施工 A では，作業人員は 14 人で作業を行い，内訳は，圧送工が 2 人（筒先 1 人，補助 1 人），土工が 5 人（高周波バイブレータ操作 2 人，バイブレータ補助 2 人，洗い 1 人），土間工が 7 人（レベル管理 1 人，かっぱぎ 3 人，定規による均し 2 人，電動スクリードによる均し 1 人）であった．バイブレータの加振時間は短時間でも十分に締固めが行えたため，2 台使用していた高周波バイブレータを 1 台に減らし，過剰に加振しないよう注意を払って締固めを行った．

効率施工 B では，圧送工が 2 人（筒先 1 人，補助 1 人），土工が 2 人（コードレス式バイブレータ 1 人，洗い 1 人），土間工が 4 人（レベル管理 1 人，かっぱぎ 1 人，定規による均し 1 人，電動スクリードによる均し 1 人）であった．コードレス式バイブレータ 1 台で十分な締固めを行うことが可能であった．また，効率施工 A，B において，スランプフローで管理される普通コンクリートを適用することにより土間工は容易に均し作業を行うことができた．

コンクリート打込みの翌朝，1 週間後および 4 か月後に打ち上がり表面の観察を行った結果，いずれの施工方法においてもひび割れは確認されず，良好な仕上がり状況であった．また，型枠脱型後のスラブ側面の充填状況も良好であった．仕上がり状況の一例として，効率施工 B の打込み翌朝および 4 か月後の状況を**図-16** に示す．

(6) 打込み・締固め・均し作業の効率化の評価

表-19 に示す歩掛調査結果より，在来施工では作業人員 20 人であったのに対し，効率施工 A では 14 人，効率施工 B では 8 人となり，それぞれ 6 人（30%），12 人（60%）の省人化が可能であった．

施工効率の評価には，一人時間当たりの打込み床面積を用いた．この値をを算出するにあたり，実質打込み作業時間と実質打込み床面積を測定した．実質打込み作業時間は，打込み開始から均し終了までの時間から，ポンプ車の盛替えや，配管の管引きなど，コンクリートを打込んでいない時間を差し引いた時間である．実質打込み床面積は，在来施工の場合は寝かせ打ちで打込みを行った床面積であり，効率施工の場合は吊るし打ちで打込みを行った床面積を示している．特に効率施工の場合は，A, B ともに吊るし打ちを試みると，打込み始めはポンプ車のブームが上階の梁に接触する恐れがあったため，寝かせ打ちを行った．寝かせ打ちから吊るし打ちに切り替える時点は，施工当日の状況判断に依存するため，効率施工 A と効率施工 B の実質床面積は差が生じている．なお，効率施工 A, B ともに寝かせ打ちの時間は評価対象としていない．

一人時間当たりの打込み床面積は，在来施工に対して効率施工 A では 0.7 倍，効率施工 B では 1.5 倍であった．効率施工 A では，作業人員を 20 人から 14 人に削減したものの，実質打込み床面積に対して土工および土間工の配置人数が多く，施工効率は在来施工を下回った．6.2 節(5)で示したように，FN コンは高周波バイブレータ 1 台による短時間の加振で締固めが可能であり，均し作業も容易であったことから，土工および土間工のさらなる省人化が可能であったと考えられる．効率施工 B では作業人員を 8 人まで削減した結果，一人時間当たりの打込み床面積は在来施工の 1.5 倍となった．また，コードレス式バイブレータ 1 台で締固めを行い，土間工の人員を削減したが，吐出量を低下させることなく施工できた．

以上より，吐出量や打込み床面積などの施工条件は異なるものの，FN コンを用いた効率施工 B では，在来施工に対して作業人員を 20 人から 8 人へ，60%削減するとともに，一人時間当たりの打込み床面積を 1.5 倍に向上できることを確認した．

(7) 作業員へのヒアリング結果

表－20 に作業員へのヒアリング結果を示す．ヒアリングは圧送工，土工および土間工を対象に実施し，その結果を施工性，生産性，省人化，疲労軽減，安全性および品質の観点から整理した．

圧送工からは，FN コンは圧送性に優れ，スラブなどの単純な打込み条件では人員削減の可能性があるとの意見が得られた．一方で，高い流動性に起因して，吹出し箇所や構造スリット部における打込み時に留意が必要であることが指摘された．

土工からは，FN コンは SL コンと比較して施工性が良

表-20 作業員へのヒアリング結果

項目	対象工種	ヒアリング結果
施工性	圧送工	・スクイズ式でも圧送能力に不足はなく，50m³/h程度でもストレスなく圧送が可能であった． ・吹き出し箇所に対する施工性に懸念がある．
	土工	・高強度のフローコンクリートより粘性が低く施工性は良好であった． ・土間スラブにおいて，バイブレータは山崩し用の1本で充分であると考えられる．
	土間工	・FNコンの施工自体は可能で，高強度コンクリートと大差ない． ・かっぱぎは容易だが，高流動のため，勾配面では施工しにくく，水平に流れて天端が上がりにくい． ・感覚はレベラーに近く，圧送工にホースの筒先を細かく振られると作業しにくい．
生産性	圧送工	・圧送が容易で，ポンプ車の出力をさらに上げた打設も可能であろう．
	土工	・SLコンと比較して作業がしやすい． ・コンクリートの打込み，山崩し，締固めに土工が減らせた場合，余剰人員を他の作業へ配置できる． ・ショルダー型バイブレータの使用により，段取りの簡略化が可能になる．
	土間工	・FNコンはSLコンと比較して仕上げの完了時間が2時間ほど遅くなった．
省人化	圧送工	・差筋や戻りポイントがない単純な状況では1人で施工が可能であろう．
	土工	・ショルダー型バイブレータの採用により，人員を削減可能である．
	土間工	・SLコンの打込みよりも人員を減らすことが可能であったが，大平面や夏期のコンクリート工事では人員を減らすことは難しいであろう．
疲労軽減	圧送工	・ホースが軽く感じられるため，筒先操作の負担が小さかった．
	土工	・コードレス式バイブレータの採用により，疲労が90%程軽減された感覚がある． ・連日のコンクリート工事における疲労を大幅に軽減できるであろう．
	土間工	・かっぱぎ作業を楽に行うことが出来た．
安全性	圧送工	・コンクリートの跳ねが少なく，長靴への付着も少なかった． ・土工が使用したコードレス式バイブレータは，足元の配線がなくつまずきや転倒による労災リスクを低減できる．
	土工	・コードレス式バイブレータは線持ちが不要であり，配線による転倒事故の防止に有効である．
	土間工	・コードレス式バイブレータは配線への気遣いが不要になるため，作業しやすい．
品質	圧送工	・構造スリット部へ打込みを行う際に，構造スリットの保持が可能かが懸念される．
	土工	・ラス型枠や垂直部材ではノロ流出が懸念される．
	土間工	・水平流動により天端が決まりにくく，勾配面の施工性に課題がある．

好であり，締固め作業に使用するバイブレータの本数を 1 本に削減できるとの意見が得られた．また，効率施工 B で採用したコードレス式バイブレータについては，電源コードの取り回しを行う作業員が不要となることから省人化に寄与するとともに，足元の配線が不要となることによる安全性の向上および疲労軽減の効果が評価された．

土間工からは，FN コンは SL コンと比較して，かっぱぎ作業が容易であるとの評価が得られた．一方で，勾配面における施工性の低下や，仕上げ完了までの所要時間が SL コンよりも長くなったことが指摘された．

以上のヒアリング結果より，効率施工 B では，施工性の向上に加え，省人化，疲労軽減および安全性向上の効果が認められた．一方で，FN コンの高い流動性に起因する，吹出し部への対策や型枠からのノロの流出対策，勾配面の施工における施工性の確保，ならびに仕上げ作業時間の増加への対策など，品質および生産性に関する課題も明らかとなった．したがって，FN コンの普及に向けては，施工条件に応じた適切な施工方法および管理手法を確立することが重要であると考えられる．

7．まとめ

本研究では，増粘剤を用いないスランプフローで管理される普通コンクリートに対し，余剰ペースト膜厚理論を応用して合理的な配（調）合設計手法を考案した．加えて，室内試験練りや市中レディーミクストコンクリート工場での試行検証，実大規模の施工実験および実工事への適用を通じて，本手法の有効性および施工性について検証した．

本研究で得られた知見を以下に示す．

1) 本配（調）合設計手法を用いることで，高い流動性と所要の材料分離抵抗性の双方を実現できる配（調）合を設定することができた．
2) 室内試し練りおよびレディーミクストコンクリート工場での配（調）合設計手法の試行検証により，多くの試し練りなどの多大な労力を要することなく，目標品質を満足する配（調）合が合理的に得られることが確認された．
3) 実大規模の施工実験を行い，増粘剤を用いないスランプフローで管理される普通コンクリートの施工性を確認した結果，効率的な施工方法と組み合わせることによりコンクリート工事の生産性を向上できることが確認された．
4) 物流センター新築工事において，受入検査の結果は品質管理値を満足する結果が得られ，コンクリートの充填状況や表面の仕上がり状態は良好であった．
5) 物流センター新築工事において，1F 床スラブの一部に，増粘剤を用いないスランプフローで管理される普通コンクリートを適用し，吊るし打ちによって打込みを行い，コードレス式バイブレータで締固め，振動機付き定規を用いて均しを行った効率施工において，打込み・締固め・均し作業の効率は向上することを確認した．
6) 物流センター新築工事において，作業員へのヒアリング結果より，増粘剤を用いないスランプフローで管理される普通コンクリートを適用し，吊るし打ちによって打込みを行い，コードレス式バイブレータで締固め，振動機付き定規を用いて均しを行った効率施工において，施工性，省人化，疲労軽減および

安全性向上の効果が認められた.

参考文献

1) 令和7年版国土交通白書　概要参照：https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001895676.pdf（閲覧日：2026年1月5日）
2) コンクリート生産性向上検討協議会：https://www.mlit.go.jp/tec/i-con-concrete.html（閲覧日：2026年1月5日）
3) 日本建築学会：高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針・同解説，日本建築学会，pp.29-30, 2021
4) 平山智章，塩見尚潔，水野浩平，六本木菜子，松本修治，橋本学，渡邊賢三，柳井修司，坂井吾郎：スラブ部材を対象とした安価な締固め不要コンクリートの打ち込み方法の検討，土木学会年次学術講演会梗概集，Vol.76，V-303，2021.9
5) 佐藤奨，南浩輔，舟橋政司，宮澤友基，梶田秀幸：スランプフローで管理されるコンクリートの施工性に関する基礎的研究，土木学会年次学術講演会梗概集，Vol.79，V-672，2024.9
6) C. T. Kennedy：The Design of Concrete Mixes, Proceedings of the American Concrete Institute, Vol.36, pp.373-400, 1940
7) T. C. Powers：The Properties of Fresh Concrete, John Wiley & Sons, Inc., 1968
8) 三宅淳一，松下博通：フレッシュコンクリートの変形性を最大にする細骨材率に関する研究，土木学会論文集E，Vol.64 No.2, pp.361-370, 2008.
9) 寺西浩司，桝田佳寛，陣内浩，鹿毛忠継，伊藤智章：細骨材および調合がコンクリートのワーカビリティーに及ぼす影響，日本建築学会構造系論文集，Vol.80, No.707, pp.9-18, 2015
10) 國井聡，田中麻帆，安井利彰，笹倉伸晃，高野正年，中島具威：画像処理および非接触水分計による CSG 品質管理システム-台形 CSG ダムの品質を確保した生産性向上システム-，前田技術研究所報，Vol.58, 2017
11) 土木学会：2023年制定コンクリート標準示方書[設計編]，p.181，2023
12) 土木学会：2022年制定コンクリート標準示方書[施工編]，p.62，2022
13) 土木学会：コンクリートライブラリー161 締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計・施工指針（案），p.27，2023
14) 土木学会：コンクリートライブラリー136 高流動コンクリートの配合設計・施工指針，pp.26-114，2012
15) 梶田秀幸，宮澤友基，南浩輔，池田周五：スランプフローで管理される普通コンクリートを用いたコンクリート工事の生産性向上に関する実験的検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，材料施工，pp.1495-1496, 2025.9