

コンクリートの調合設計研究委員会報告：寒中コンクリート施工支援システムの開発

正会員 ○深瀬 孝之*¹ 同 千歩 修*²
 同 浜 幸雄*³ 同 桂 修*⁴
 同 田中 宏和*⁵

1. はじめに

コンクリートの調合設計は、コンクリートの強度、耐久性などの要求品質や経済性を確保する上で極めて重要である。特に、寒中コンクリートにおける調合設計は養生計画と密接な関係があるため、養生上屋の熱損失量、計画養生温度に応じた強度管理材齢などを求める必要がある。

したがって、施工計画の立案に際して、実務担当者が適切かつ簡便な方法で算定作業を行い、施工条件に対して最適な方法を選択することが望まれる。そのためには、各種算定をシステム化し、コンピュータを活用していくことが有効な手段になると考えられる。

日本建築学会北海道支部「コンクリートの調合設計研究委員会」では、1997年版 JASS5 および 1998年版寒中コンクリート施工指針（以下、現行指針類）に対応した「コンクリートの調合計画・管理支援システム」の開発を行ってきた。さらに、現行指針における問題点を踏まえながら、今後の性能規定化に伴う調合設計の在り方に関しても検討を行った。

本稿では、本委員会の最終成果である「コンクリートの調合計画・管理支援システム」の概要と実務者によるモニター版利用時のアンケート調査結果について報告する。

2. 委員会活動の概要

本委員会（主査：千歩修 北大助教授）は、平成12年4月に日本建築学会北海道支部の特定課題研究委員会として設置された。本委員会では、現行指針類に対応した支援システムの開発を主たる目的として、平成14年3月までの間に計12回の委員会を開催してきた。

(1) 平成12年度：委員会5回開催

- 1) システム化の対象範囲と要件定義
- 2) 計画手法の現状把握と問題点の抽出
- 3) システムの1次開発
- 4) 委員による試作システムの評価

(2) 平成13年度：委員会7回開催

- 1) システムの2次開発
- 2) 実務者試用によるアンケート調査
- 3) システム普及方法の検討
- 4) 課題の整理

表-1 現行指針版システムの機能

種 別	機 能・内 容
調合計画	A1. 気象庁旬平均気温による予想積算温度の算定
	A2. 指針 4.5 による温度補正值の算定
	A3. 指針 4.5 による強度管理材齢の算定
	A4. 調合強度の算定
	A5. 参考値としての強度増進過程の表示
	A6. 調合計画書・温度関連データの印刷
養生計画	B1. 養生上屋の熱損失量の算定
	B2. 加熱養生計画書の印刷
強度管理	C1. 養生温度記録の管理
	C2. 圧縮試験結果からの強度推定
	C3. 標準曲線（指針資料 6）による強度の推定
	C4. 温度記録・強度推定の印刷

3. システムの概要

システム開発上の条件を、①操作・管理が簡便であること、②汎用性があること、③導入コストが安価であること、とした。また、システム利用者には、施工者・生コン製造者・設計者などが考えられ、複数の工事を一括して管理するような利用者も存在する。

これらのことから、各工事物件および各部位別に効率的なデータ管理ができるよう、本システム主要部にはデータベースソフト (Microsoft Access2000) を採用した。

なお、開発したシステムは、現行指針類に対応した「現行指針版」と委員会提案を盛込んだ「提案版」の2種類である。

3.1 現行指針版システム

現行指針版システムは、一般的な技術者を対象に広く普及させることを目的としたもので、表-1に示すような機能を有するものである。機能面からは、調合計画、養生計画、強度管理の3分野から構成され、それぞれがデータベースに格納された基本データ（気象庁旬平均気温、熱損失係数など）を参照して、算定を実行する仕組みとなっている。

現行指針版システムで適用した算定手法および基本データは、現行指針の内容に踏襲している。したがって、調合計画部分では、寒中コンクリート施工指針に示されている調合強度の定め方のうち、「構造体コンクリートの強度管理の材齢を延長して調合強度を定める方法」（図-1 参照）を採用している。

ただし、調合計画（表-1 A5）において、図-2に示すような「参考値としての強度増進過程の表示」を付加したのは、後述する現行指針の問題点に対処するためである。

3.2 提案版システム

提案版システムでは、現行指針の問題点および将来的な方向性といった技術的課題に対応するため、指針において適用範囲が明らかにされていない方法も導入した。

現行指針の問題点として、以下のようなことが挙げられる。

- ①調合計画時に期待するコンクリート強度と実績値との相違が大きい。
- ②設計基準強度を任意材齢で確保する調合計画手法が定められていない。
- ③氷点下温度に対する積算温度の評価方法が明確に示されていない。
- ④コンクリート内部の温度履歴を適切に評価できない。

表-2 提案版システムで導入した機能

種 別	機 能・内 容
調合計画	A1. 標準曲線を利用した調合計画 ¹⁾
	A2. 氷点下の積算温度評価方法
	a. 反応速度定数による等価積算温度方式 ²⁾
	b. 補正係数による積算温度方式 ³⁾
養生計画	A3. 耐寒促進剤の標準曲線を利用した調合計画 ⁴⁾
	A4. 断熱養生温度履歴予測 ⁵⁾
養生計画	B1. 換気回数曲線のシステム化 ^{6), 7)}

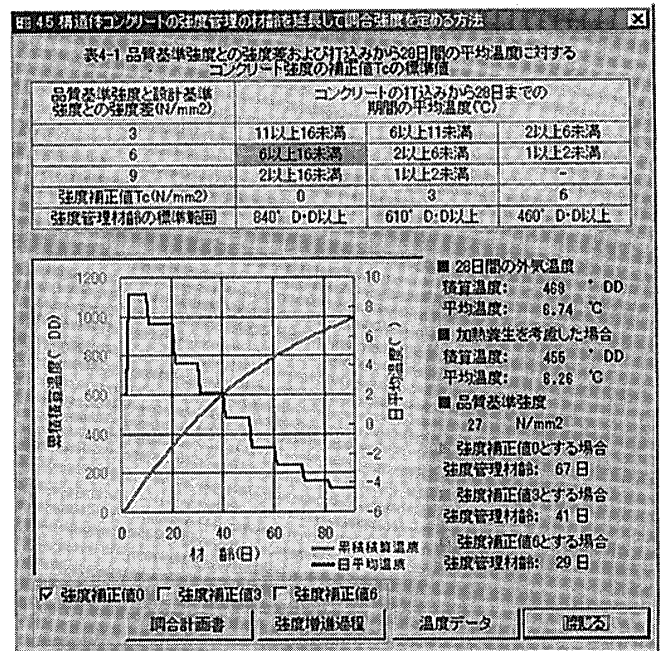


図-1 調合計画算定画面 (現行指針版)

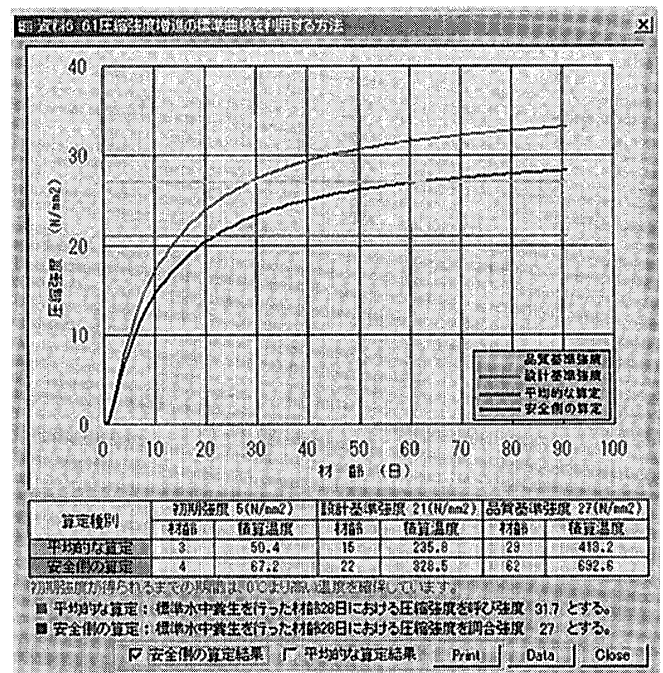


図-2 参考値としての強度増進過程画面 (現行指針版)

表-1 品質基準強度と設計基準強度との強度差および材齢から28日間の平均温度に対するコンクリート強度の補正係数 T_c の標準値

品質基準強度と設計基準強度との強度差 (N/mm^2)	コンクリートの材齢から28日間の平均温度 $(^{\circ}C)$		
3	11以上16未満	6以上11未満	2以上6未満
6	6以上16未満	2以上6未満	1以上2未満
9	2以上16未満	1以上2未満	-
強度補正係数 $T_c(N/mm^2)$	0	3	6
強度管理材齢の標準範囲	840° D・D以上	610° D・D以上	460° D・D以上

■ 28日間の外気温度
積算温度: 469 °DD
平均温度: 6.74 °C
■ 加断熱養生を考慮した場合
積算温度: 456 °DD
平均温度: 6.26 °C
■ 品質基準強度
27 N/mm^2
強度補正係数とする場合
強度管理材齢: 67日
強度補正係数3とする場合
強度管理材齢: 41日
強度補正係数6とする場合
強度管理材齢: 29日

図-3 調合計画条件設定画面 (提案版)

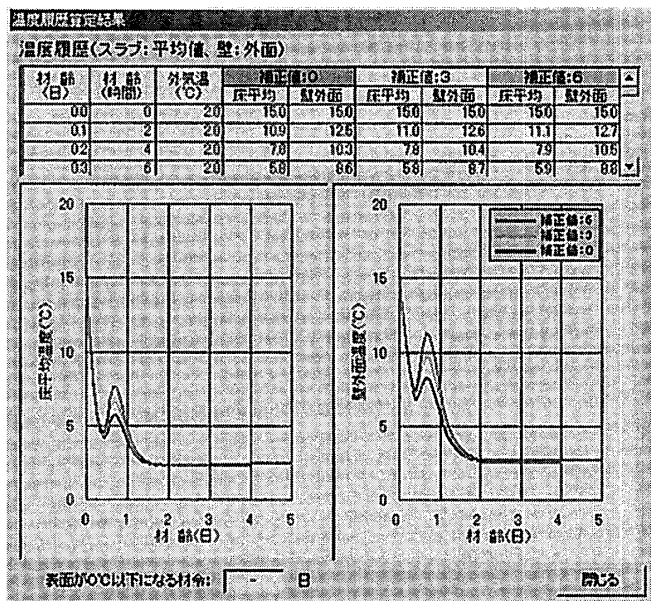


図-4 断熱養生温度履歴予測画面(提案版)

このような問題に対処するため、現行指針版システムをベースとして、表-2 に示すような機能を追加した。

調査計画部分では、外気温と圧縮強度増進の標準曲線を用いてコンクリート強度の推定を行い、調査強度を定める方法を採用した。また、図-4 に示すように、コンクリートの内部温度を予測し、その温度履歴を標準曲線に算入する手法も取り入れた。

標準曲線を利用する場合、積算温度 $840^{\circ}\text{C}\cdot\text{D}$ 時のコンクリート強度を定める必要があり、強度の実績値が推定強度を上回る確率は、この設定値によって左右される。

この点に関しては、安全的算定(推定強度を確保する確率 96%) および平均的算定(推定強度を確保する確率 50%) を行い、この2つの選択肢から利用者が選択することとした。

また、氷点下の積算温度評価方法として、現行の積算温度方式に加え、①反応速度定数による等価積算温度方式、②補正係数による積算温度方式を準備した。

養生計画部分では、現行指針に示されている基準換気回数曲線を対象に、その基本となる換気量算定式のシステム化(図-5)を行った。ここでは、換気量算定式が非線形連立方程式であるため、2分法による収束計算を行い、その解を算出している。

提案版システムには、上述したような一般化されていない技術を採用している。その機能の特殊性から、現段階では提案版システムの利用対象者を限定することとした。

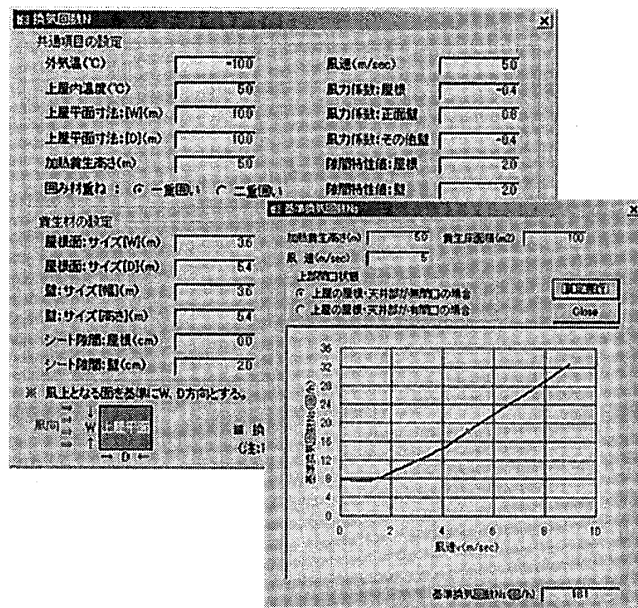


図-5 換気回数画面(提案版)

4. モニター版(現行指針版)のアンケート調査

本システムの効果および実務者のニーズを把握し、最終成果物に対する改善の方向性を明らかにするために、モニター版を配布し、アンケート調査を実施した。

この調査を実施するにあたり、(社)北海道建設業協会主催の技術講習会において、寒中コンクリートの調査と強度管理の基礎と、モニター版の操作に関する講習を実施し、受講者全員にモニター版を配布した。なお、この講習会の受講者は、建築および土木技術者 240 名であり、分野別および地域別比率は図-6 に示すとおりである。

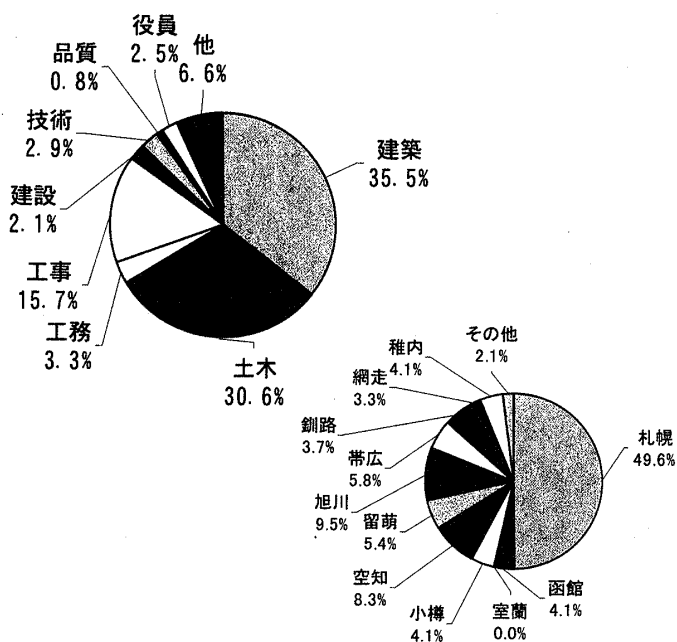


図-6 講習会受講者の分野別・地域別比率

表-3 アンケートの評価方法

評価	良い	やや良い	普通	やや悪い	悪い
評価点	5	4	3	2	1

この調査は、対象者がモニター版を2カ月間試用した後、システムのセットアップ方法、操作性、画面表示、印刷物、マニュアルに関して、5段階評価（表-3）でアンケートに回答するものである。

アンケート回収数は36（回収率15%）であり、その内訳は建築技術者24、土木技術者12であった。

主要なアンケート結果を図-7に示す。各設問それぞれに対する評価平均値はすべて4以上となり、システム全体に対する評価平均値としては4.3を得た。また、「今後もシステムを利用したいか」という質問に対しては、6割を超える回答者が「非常に利用したい」と回答した。

図-7において、土木分野の回答者による評価が、建築分野に比較して低い傾向にあった原因は、土木と建築分野との計画手法が異なっていることが、影響していると考えられる。

5. まとめ

寒中コンクリートに携わる技術者を対象として、支援システムの開発を行い、モニター版（現行指針）によるアンケート調査から、その有効性および実用性を確認した。

現行指針版システムに関しては、今後、建設業協会など関連諸団体と連携しながら、広く普及させる予定である。ただし、利用者のコンピュータ環境に起因するトラブル対応やバージョンアップ方法といった、解決すべき課題も残されている。

提案版システムで採用した一般化されていない技術に対しては、実績データを収集することにより、その妥当性を検証することが必要となる。この技術の導入により、現行指針における技術的課題に対応できることから、寒中コンクリート施工指針の改定に向けた継続的な活動が望まれる。

本システムおよび一般化されていない技術の普及によって、利用者の業務効率化や合理的な計画手法の実現が図れるものと期待する。

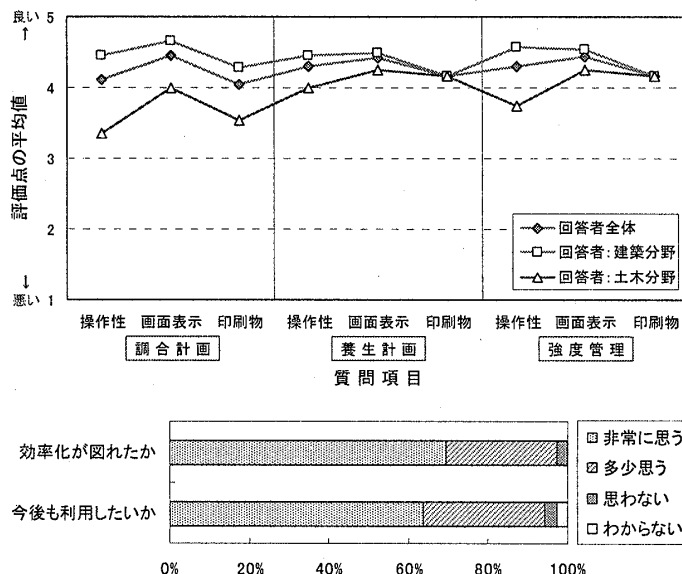


図-7 アンケート結果

[謝 辞]

本委員会の活動にあたり、コンクリートの調合設計研究委員会委員の方々、ならびに、モニター版のアンケート調査にあたり、北海道建設業協会の方々に多大なご協力を頂きました。末尾ながら深く感謝いたします。

[参考文献]

- 1) 日本建築学会、寒中コンクリート施工指針・同解説（第4版）、資料6、pp218～226、1998
- 2) 須藤由美子、桂修、吉野利幸、三森敏司、浜幸雄：凍結および乾燥を受けたセメント硬化体の水和反応速度と強度増進、日本建築学会構造系論文集、No. 542、pp17～22、2001.4
- 3) 三森敏司、大森隆男、浜幸雄、桂修：氷点下でのコンクリートの強度増進性状と積算温度関数式に関する検討、コンクリート工学年次論文集、Vol. 22、No. 2、pp553～558、2000
- 4) 日本建築学会、寒中コンクリート施工指針・同解説（第4版）、資料3、pp184～186、1998
- 5) 長島弘：寒中コンクリート断熱養生温度履歴の予測計算、日本建築学会構造系論文集、No. 534、2000.8
- 6) 日本建築学会、寒中コンクリート施工指針案・同解説（第2版）、pp159～165、1981
- 7) 田中俊六他：最新建築環境工学、pp131～148、井上書院、1992

*1 伊藤組土建株式会社・工修 *2 北海道大学大学院助教授 工博
 *3 室蘭工業大学助教授・博士(工学) *4 北海道立北方建築総合研究所・博士(工学)
 *5 岩田建設株式会社・工修、経営修