

北海道・東北圏の実務者を対象とした寒中コンクリートに関する実態調査と現行指針の課題

A SURVEY ON COLD WEATHER CONCRETING TO PRACTICAL PERSONS IN HOKKAIDO AND TOHOKU REGIONS AND A PROBLEM WITH THE RECOMMENDATION FOR PRACTICE

三森敏司 — * 1 濱 幸雄 — * 2
長谷川拓哉 — * 3 深瀬孝之 — * 4

Toshiji MIMORI — * 1 Yukio HAMA — * 2
Takuya HASEGAWA — * 3 Takayuki FUKASE — * 4

キーワード：
寒中コンクリート, アンケート調査, 北海道, 東北, 強度増進, 標準曲線

Keywords:
Cold weather concreting, Questionnaire survey, Hokkaido, Tohoku, Strength development, Standard curve

The cold weather concreting recommendation for practice of AIJ is utilized by many practical persons. However, about mixing plan or curing plan, estrangement from the field results data was pointed out, and so I carried out a survey for the purpose of grasping the actual situation. In addition, as for the compounding plan technique, it turned out that in Hokkaido region they had much adoption of standard curves of sixth document in the recommendation for practice. When I compared this standard curve with the field results data and the laboratory data, I found the estrangement at early age was wide, so it is necessary to review this curve.

1. はじめに

日本建築学会「寒中コンクリート施工指針・同解説¹⁾」(以下, 指針)は, 寒中コンクリートに必要な技術的対応を網羅したものであり, プラント技術者や施工者など多くの実務者に活用されている。しかし, 近年の設計基準強度の高強度側へのシフトにより調合計画や養生計画などにおいて, 現行指針の規定と実績データとの乖離が少なからず指摘されており, 今後の指針改定に向けて課題を整理する必要がある。

日本建築学会北海道支部では「寒中コンクリート施工調査研究委員会(活動期間: 2005年4月~2007年3月)」を設置し, 寒中コンクリート施工の実態を把握することを目的としたアンケート調査を実施した。

本稿では, 北海道と東北圏の実務者を対象として実施した調合計画, 養生計画, 強度管理手法および現行指針に対する評価などに関するアンケート調査結果から現行指針の課題を抽出し, 検討を行った結果を報告する。

2. アンケート調査の概要

アンケート調査の設問概要を表1に示す。計画時に適用する図書, 現行指針の利用度と評価, 寒中コンクリート工事に関する設問を委員会で議論し, 設定した。各対象者に対する質問数は, 生コン工場16問, 施工会社(管理部門)26問, 施工会社(作業所)31問とした。

アンケート調査の配布と回収状況を表2に示す。調査対象は北海

表1 アンケート設問の概要

アンケート対象者	生コン工場	管理部門	作業所
会社の概要(所在地, 規模等)	○	○	○
寒中コンクリートの経験(件数, 数量等)	○	○	○
計画時に適用する図書	—	○	○
所属組織で調合計画を算定する頻度	○	○	—
調合計画の算定実施者	—	—	○
調合計画手法(利用頻度, 採用した方法等)	○	○	○
氷点下の積算温度の算定方法	○	○	○
耐寒促進剤の利用度	○	○	—
加熱養生(算定者, 指針の利用頻度等)	—	○	○
指針の利用度	○	○	○
指針に対する評価	○	○	○
支援システムの利用度	○	○	○

○: 設問あり —: 設問なし

表2 アンケート調査の配布と回収状況

地域	対象	調査時期	調査方法	配布数	回収数	回収率(%)
北海道	施工会社(管理部門)	2006/02	郵送による配布, FAX・メールによる回収	338	82	24
	施工会社(作業所)	2006/02	管理部門に調査票を郵送, FAX・メールによる回収	不明	117	—
	生コン工場	2006/02	FAXによる調査票の配布・回収(セメント5社に依頼)	289	198	69
	生コン工場(一次再調査)	2006/10	FAXによる調査票の配布・回収	180	105	58
	生コン工場(二次再調査)	2006/10	FAXによる調査票の配布・回収	46	34	74
東北	施工会社(管理部門)	2007/01	FAX・メールによる調査票の配布・回収(大手5社のみ)	5	5	100
	施工会社(作業所)	2007/01	FAX・メールによる調査票の配布・回収(大手5社のみ)	不明	15	—
	生コン工場	2006/11	FAXによる調査票の配布・回収(セメント1社に依頼)	158	59	37

*1 釧路工業高等専門学校建築学科 准教授
(〒084-0916 釧路市大栗毛西2丁目32番1号)

*2 室蘭工業大学工学部建設システム工学科 准教授・博士(工学)

*3 北海道大学大学院工学研究科建築材料科学研究室 准教授・博士(工学)

*4 伊藤組土建(株) 工修

*1 Assoc. Prof., Dept. of Arch., Kushiro National College of Technology

*2 Assoc. Prof., Muroran Institute of Technology, Dr. Eng.

*3 Assoc. Prof., Hokkaido Univ., Laboratory of Building Materials, Dr. Eng.

*4 Itogumi Construction Co., Ltd., M. Eng.

道に所在する生コン工場 289 社と東北圏に所在する生コン工場 158 社、北海道に本店が所在する施工会社 338 社、および東北圏に支店が所在する大手施工会社 5 社とした。施工会社に対しては、管理部門と寒中コンクリートの施工予定または施工中の作業所を対象とした。調査時期は北海道の生コン工場と施工会社が 2006 年 2 月、東北圏の生コン工場が 2006 年 11 月、施工会社が 2007 年 1 月に実施した。なお、北海道内の実務者の回答には調査計画手法とその選定理由が整合しない回答が多数含まれていたため、不整合を確認するための再調査を 2006 年 10 月に実施した。生コン工場に対するアンケートの配布・回収は、(社)セメント協会・セメントコンクリート技術専門委員会(北海道地区委員会)に依頼し、FAX により実施した。なお、施工会社については、対象企業の管理部門に 2 種類のアンケート(管理部門・作業所用)を一括して郵送し、回収は FAX および電子メールにより実施した。また、対象となる作業所への配布は管理部門を介して行った。

3. アンケート調査結果

(1) 回収状況

表 2 に各調査に関する配布数、回収数および回収率を示す。ただし、作業所への配布を管理部門に依頼したため、配布数は不明である。アンケート送付総数は 1,016 通以上で、そのうち回答者は 615 名である。回答者が所属する企業(作業所)の所在地と回収数の関係を図 1 に示す。

(2) 寒中コンクリートの施工計画にあたり主に適用した図書

図 2 に施工会社回答での計画時に主に適用する図書を示す。北海道では管理部門、作業所とも主に指針が採用され、回答数の約 8 割を占め、東北圏においても約半数で指針が採用されていた。

(3) 回答者の所属組織で調査計画を算定する頻度

図 3 に生コン工場および施工会社(管理部門)での調査計画の実施頻度を示す。北海道内の生コン工場の回答では、施工者から依頼され調査計画を算定する頻度が「非常に多い」「多い」が、約半数を占め、管理部門の回答では「少ない」「非常に少ない」「ない」が 75% を占めた。一方、東北圏の生コン工場では「多い」が約 20% で、北海道に比べその頻度は低い。

(4) 調査計画の算定実施者

図 4 に施工会社(作業所)回答での調査計画の実施者を示す。北海道・東北圏ともに調査計画の算定に関しては、「作業所」で実施される場合が半数以上であるが、「生コン工場」に依頼する比率も高く、全体の 3 割程度を占めている。

北海道における調査結果を従業員数別にみると、従業員数 300 人以上の企業では、調査計画の算定が「管理部門」によって実施されていることが分かる。

(5) 調査計画手法

図 5 に最も多く採用する(採用した)調査計画手法の一例を示す。調査では、指針 4.4 の方法(管理材齢を 28 日として調査強度を定める方法)が最も多く採用される結果となった。しかし、この方法は寒中コンクリートの適用時期以外に利用することが一般的であることから、生コン工場を対象として、この調査計画手法が寒中コンクリートを対象としたものかどうかについて二次再調査を実施した。

その結果を図 6 に示す。指針 4.4 を最も多く採用するとの回答の

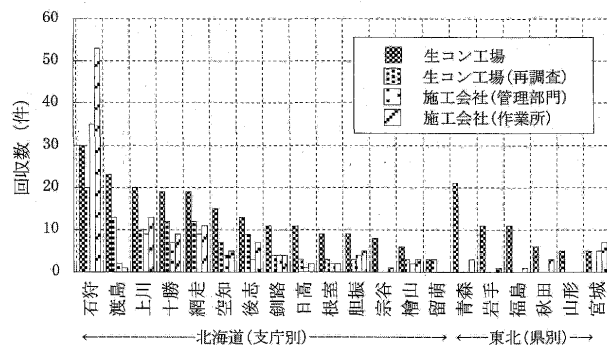


図 1 所在地別の回収数

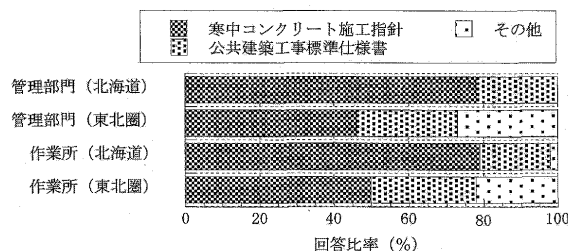


図 2 計画時に主に適用する図書(施工会社)

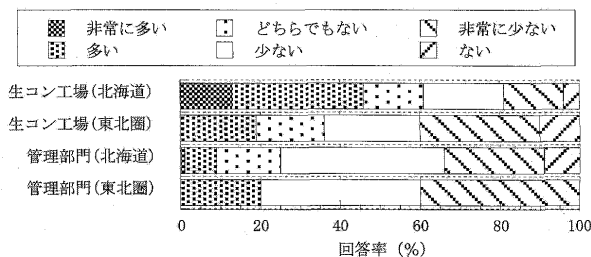


図 3 調査計画の算定実施頻度

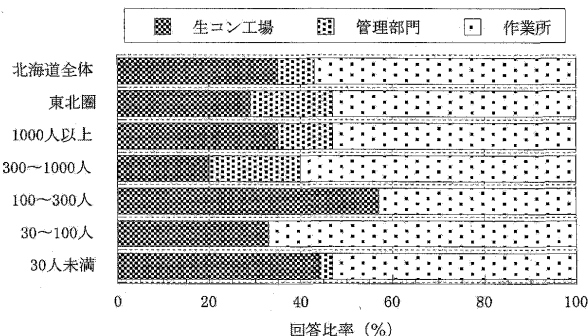


図 4 調査計画の算定実施者

中で寒中コンクリートを対象としたものは 21% であり、寒中コンクリート以外を想定した回答が多く含まれていることが示された。

指針 4.4 を除く調査計画手法に関しては、北海道では「標準曲線」、東北圏では「水セメント比の補正係数」が多く採用されている。また、計画手法の採用理由についても、図 7 に示されるような差異がみられた。

(6) 氷点下温度域の積算温度評価

図 8 に氷点下の積算温度の算定方法を示す。氷点下温度域の積算温度の評価について「通常算定方法(平均温度 + 10)」が一般的に採用されており、「通常の方法から低減する」との回答は少なく、北海道・東北ともに 1 割程度であった。その他として、補正係数方式 $M = 0.2 (\theta + 10)$ による算定、公共建築工事標準仕様書 6.12.5(c)(1)

に従い初期養生以後も0℃以下としないよう採暖養生を行う、寒中コンクリート施工支援システムの利用、呼び強度を3～6N/mm²増す、札幌の過去12年間の温度データを利用する等、異なる対応がなされている。氷点下においてもコンクリート強度は増進するものの、その程度は通常の積算温度との関係で表すことができないことが指摘されていることから²⁾³⁾、氷点下の温度での積算温度算定方法を明確にする必要がある。

(7) 耐寒促進剤の利用について

生コン工場、施工会社（管理部門）を対象とした耐寒促進剤の利用調査を行った結果を図9に示す。生コン工場で使用実績があるとの回答が得られたのは北海道で6割ほどであったが、東北圏では4割程度にとどまった。

(8) 加熱養生

施工会社のみを対象として加熱養生に関する調査を行った。図10に加熱養生の指針採用の有無、図11に加熱養生の算定者を示す。作業所回答からは、加熱養生時の熱損失量の算定は指針を利用する（北海道90%、東北73%）、作業所技術者が算定する（北海道94%、東北66%）という結果が得られた。

図12に加熱養生実施時の養生温度を示す。加熱養生実施時の養生温度は、計画時に比べ「かなり高い」または「高い」との回答が北海道・東北ともに約7～8割を占めた。なお、ここでの温度差は回答者の感覚によるところが大きい、計画養生温度に対して5～10℃程度の差と想定される。

(9) 指針の利用度

図13に寒中指針の利用度を示す。北海道では、「よく利用する」、時々利用する」が8～9割を占め、建築分野における寒中コンクリートにおける指針の利用度は高い。一方、東北圏の生コン工場、作業

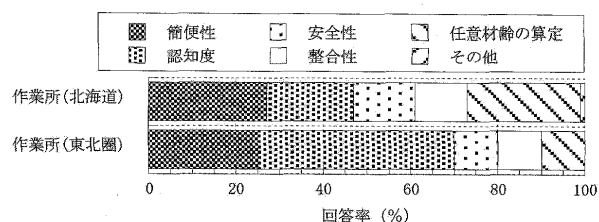


図7 調合計画手法の選定理由（作業所回答）

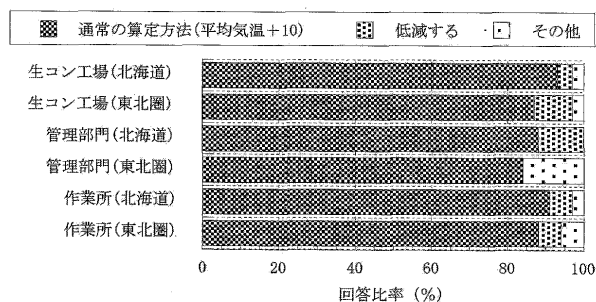


図8 氷点下の積算温度の算定方法

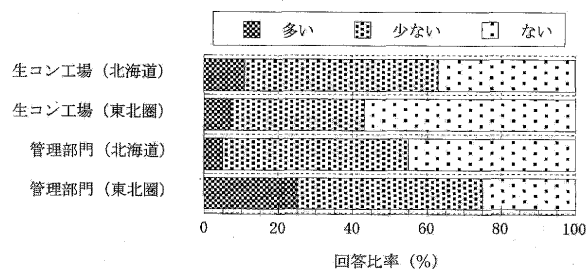


図9 耐寒促進剤の利用実績

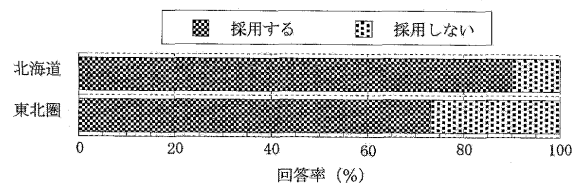


図10 加熱養生の指針採用の有無

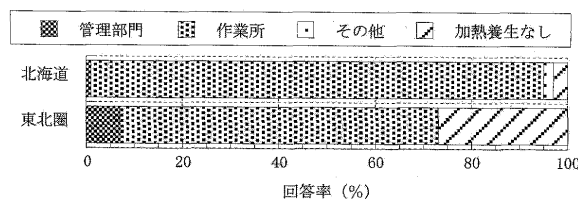


図11 加熱養生の算定者

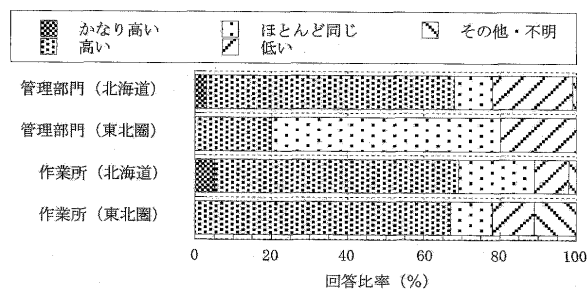


図12 加熱養生実施時の養生温度

手法1：指針 4.4 構造体コンクリートの強度管理の材齢を28日として調合強度を定める方法
 手法2：指針 4.5 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
 手法3：指針 資料6 標準曲線（安全側の算定）
 手法4：指針 資料6 標準曲線（平均的な算定）
 手法5, 7：公共工事標準仕様書、指針資料5 水セメント比補正係数
 手法6：指針 資料5 強度補正值
 手法8：指針 4.6 生コン工場実績による強度増進曲線
 手法9：その他の手法

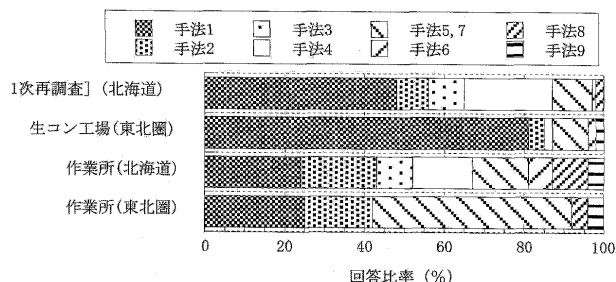


図5 最も多く採用する（採用した）調合計画手法

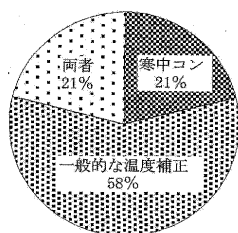


図6 調合計画手法の対象に関する再調査の結果（生コン工場・北海道）

所での利用は6割程度にとどまっている。

(10) 指針に対する評価

調合計画、養生計画および巻末資料について、わかりやすさ・有益性を5段階で調査し、評価点を非常に良い:+2, 良い:+1, 普通:0, 悪い:-1, 非常に悪い:-2の平均値として評価した。図14に示すように、全体的な評価に比べ、調合計画に対する評価は低い傾向にある。なお、指針に対する問題・要望の自由回答の概要を表3に示す。

(12) 寒中コンクリート支援システムの利用

日本建築学会北海道支部「コンクリート調合設計研究委員会」が作成した「寒中コンクリート施工支援システム」の利用は図15に示すとおり北海道の生コン工場で約40%, 施工会社の管理部門で約25%, 作業所で約30%と全体の3人に1人程度の利用経験があった。一方、東北圏での利用実績は生コン工場1件のみと少ない。

(13) 指針のコンピューター算定システム化について

図16にシステム化の希望状況を示す。東北圏の生コン工場で55%とやや低いものの、他は、約8割の人が指針のコンピューターによる算定システム化を希望している。

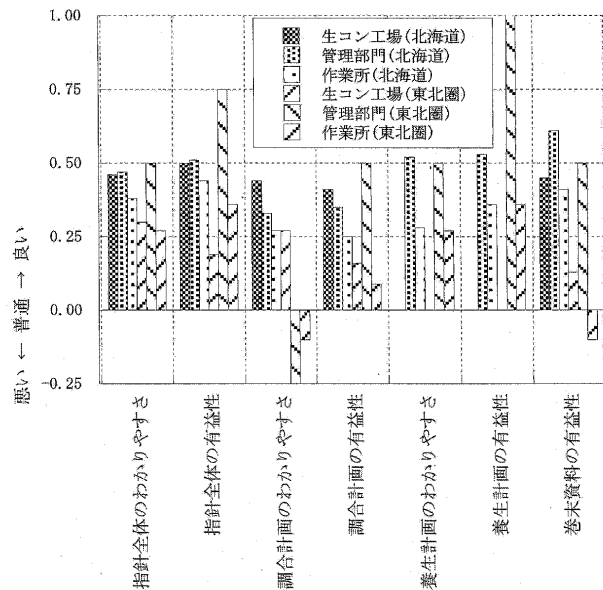


図14 指針に対する評価

4. 指針・資料6 圧縮強度増進の標準曲線の検証

アンケート調査から、調合計画において北海道では指針・資料6の標準曲線が多く採用されていることが判明した。しかし、標準曲線に対して強度が強めに出る傾向にあり、特に水セメント比が低い場合にその傾向が顕著であるとの指摘があった。そこで寒中コンクリートの生コン工場の実績データと実験室実験データを用いて標準曲線の検証を行った。

4.1 標準曲線について

標準曲線は積算温度と圧縮強度の関係をロジスティック曲線に近似した実験式である。普通ポルトランドセメントを使用した場合の標準曲線式を(1)に示す。

$$F = F_{\infty} / \{1 + \exp(-2.4235 \log_{10}(M_c) + 5.6271)\} \cdots (1)$$

ここに、 F_{∞} : 構造体コンクリートの温度補正した推定最終強度

$$F_{\infty} = {}_{20}F_{\infty} \{1 - 0.003726(T_{24} - 20)\}$$

${}_{20}F_{\infty}$: 標準養生したコンクリートの最終強度

$${}_{20}F_{\infty} = {}_{20}F_{28} \{1 + \exp(-2.4235 \log_{10}({}_{20}M_{28}) + 5.6271)\}$$

M_c : 構造体コンクリートの温度補正した積算温度

$$M_c = M + 1.0394(T_{24} - 20)$$

${}_{20}F_{28}$: 標準水中養生した材齢28日における圧縮強度

${}_{20}M_{28}$: 標準水中養生した材齢28日における積算温度

T_{24} : 打込み24時間のコンクリートの平均温度(°C)

M : コンクリートの積算温度

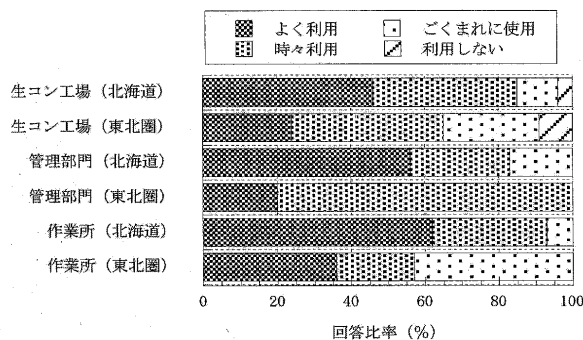


図13 指針の利用度

表3 指針に対する問題・要望の自由回答の概要

・強度増進過程の算定で、資料5, 6の推定方法も安全側にずれた数値は実際の圧縮強度より過大になる方向に進む。結果的に過剰配合のリスクが発生する可能性も出てくる
・指針資料6の標準曲線は初期強度については多少差異が出るが、 σ_7 以降は信頼性があるので、これで寒中期間中の調合設計を可能にしてほしい
・水セメント比の範囲および呼び強度を高強度に対応(〜60N位)したものを記載してほしい
・養生計画で温度を定めずに生コン側に積算温度の計算を要求する等、施工側が積算温度および補正係数 α の算定式について理解しやすい内容としてほしい
・コンクリート打ち込み後28日平均養生温度が1°C以下でも算定できること(資料6の標準曲線の利用、氷点下での積算温度の明確化)
・日平均気温が氷点下における積算温度の考え方を明確にしてほしい
・耐寒促進剤を用いた場合の標準曲線による強度の詳しい算定方法
・耐寒促進剤を使用した場合の養生温度・養生日数などの養生方法

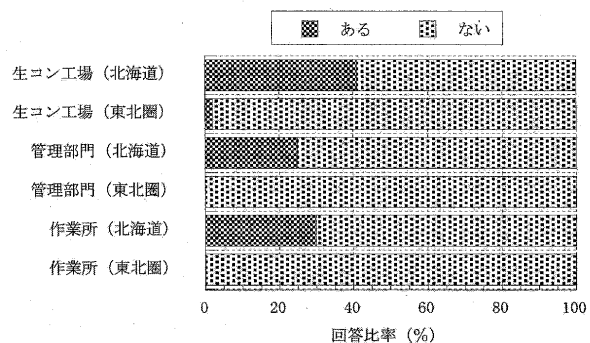


図15 寒中コンクリート支援システムの利用度

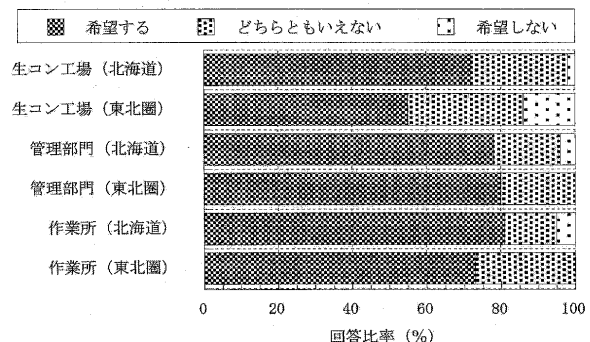


図16 指針のコンピューターによるシステム化について

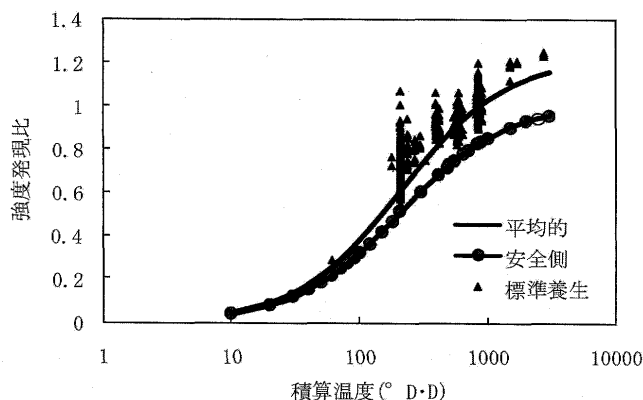


図 17 実績データと標準曲線の対応（標準養生の場合）

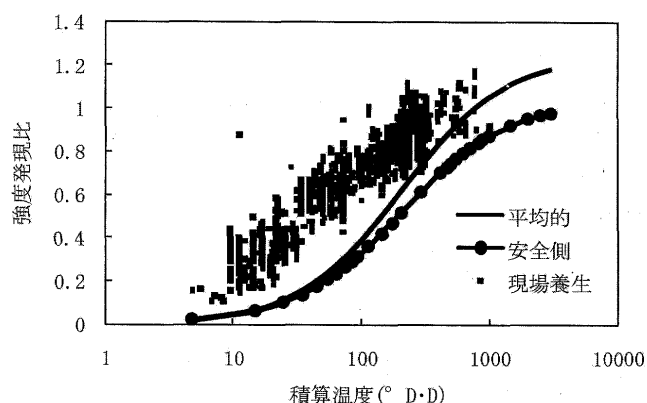


図 18 実績データと標準曲線の対応（現場養生の場合）

表 4 調査設計基準

呼び強度 (N/mm ²)	18	21	24	27	30	33	36	40
調査強度 (N/mm ²)	22.7	25.7	29.8	32.8	36.2	39.2	43.1	47.1
W/C (%)	65.0	60.0	55.0	50.0	45.0	45.0	40.0	40.0

表 5 実験計画

記号	W/C (%)	スラング (cm)	空気量 (%)	混和剤	養生温度 (℃)
45A	45	18	4.0	AE 減水剤 標準形	20
55A	55				10
65A	65				5
45N	45		1.0	-	20
55N	55				
65N	65				

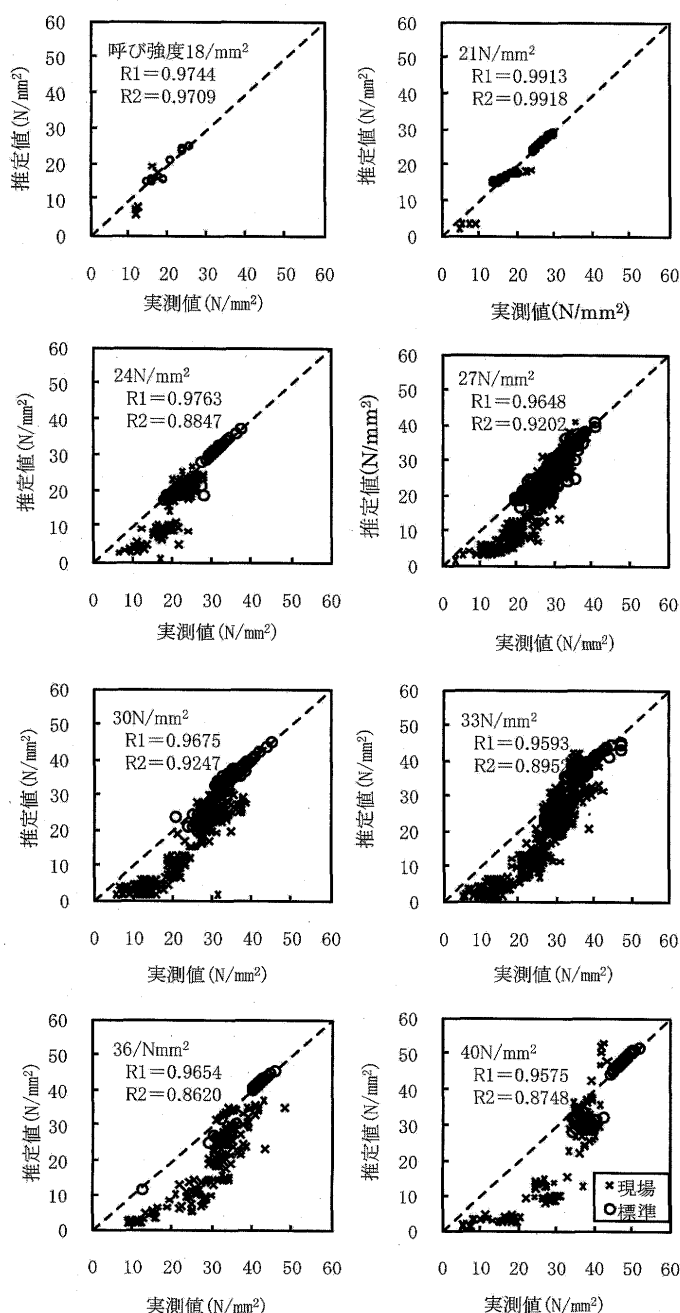


図 19 実測値と推定値の対応

強度、積算温度の単位はそれぞれ (N/mm²) と (° D・D) を用いる。

4.2 現場の実績データと標準曲線との対応

2001 年～2005 年に札幌圏の生コン工場 T 社から出荷された寒中コンクリートの圧縮強度データ延べ 2,929 本（標準養生 1,393 本、現場封かん養生 1,536 本）を用いて検討を行った。なお、呼び強度に対する調査強度および水セメント比は表 4 に示す T 社の調査設計基準による。また、積算温度を求める際の現場封かん養生の気温は指針資料 7¹⁾ による気象庁の旬平均気温とし、強度発現比は各供試体における任意材齢の圧縮強度をその調査強度で除した値とした。

図 17、図 18 に実績データと標準曲線の対応を示す。特に若材齢において実績データと標準曲線には著しい乖離がみられ、特に現場封かん養生の初期材齢における差が大きい。図 19 に呼び強度ごとの実績データと標準曲線による推定強度の対応を示す。呼び強度が大きいほど実績値と推定値の差が大きくなる傾向がある。

4.3 実験室データと標準曲線との対応

(1) 実験概要

表 5 に実験計画を示す。水セメント比が 45%、55% および 65% の 3 水準と、目標空気量が 1% および 4% の 2 水準の、合計で 6 種類のコンクリートを作製した。セメントは普通ポルトランドセメント ($\rho = 3.16$)、細骨材は登別産陸砂 ($\rho = 2.69$)、粗骨材は敷生川水系安山岩砕石 ($\rho = 2.67$)、化学混和剤として AE 減水剤標準形 (I 種) を使用した。表 6 にコンクリートの調査を示す。混練は二軸強制ミキサーを用いた。表 7 に練上がり性状および標準養生 28 日の圧縮強度を示す。養生は全て封かん養生とし、型枠として $\phi 10 \times 20$ cm の円柱供試体を用いた。T 熱電対を用いて供試体の中心温度の測定を行い、所定の材齢（積算温度 30, 90, 210, 420, 840, 1680, 2730° D・D）で圧縮強度試験を行った。

(2) 実験結果および考察

図 20 に水セメント比別の積算温度と強度発現比との対応を示す。ここでの強度発現比は水セメント比毎に 20℃封かん養生の 840° D・D 相当の圧縮強度によって任意材齢の圧縮強度を除した値とする。

水セメント比が低くなるのに伴い、若材齢での強度発現が標準曲線を大きく上回る傾向が見られる。これは実績データと標準曲線との関係と同様の傾向といえる。また、長期材齢では水セメント比によらず標準曲線との乖離は小さくなっているが、養生温度が低いほど強度が大きくなる傾向があり、養生温度および混和剤使用の有無

表 6 コンクリートの調合

記号	W/C (%)	s/a (%)	W (kg/m³)	絶対容積 (l/m³)			質量 (kg/m³)			単位粗骨材 かさ容積 (m³/m³)	AE 減水剤 標準形
				C	S	G	C	S	G		
45A	45	44.5	172	121	297	370	382	807	992	0.64	250ml /C100kg
55A	55	47.0	166	96	328	370	302	893	992	0.64	
65A	65	48.4	163	80	347	370	251	945	992	0.64	
45N	45	43.8	195	138	287	370	433	782	992	0.64	-
55N	55	46.8	187	108	325	370	340	884	992	0.64	-
65N	65	48.3	185	90	345	370	285	937	992	0.64	-

表 7 コンクリートの練上がり性状および 28 日強度

記号	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位容積 質量 (kg/l)	練上がり 温度 (°C)	室温 (°C)	標準水中 (N/mm²)
45A	18.9	5.2	2.37	20.2	21.5	41.8
55A	17.4	5.4	2.36	20.0	22.0	31.2
65A	17.0	5.9	2.34	20.2	19.2	20.2
45N	20.8	2.1	2.43	20.2	19.2	49.1
55N	21.8	2.4	2.40	20.0	19.2	37.2
65N	18.4	2.5	2.39	20.0	19.2	26.2

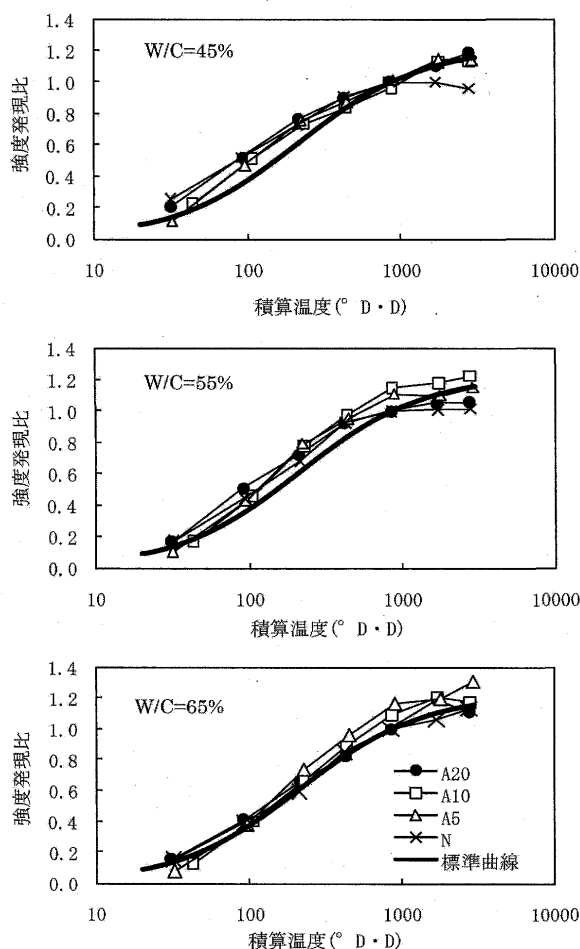


図 20 積算温度と強度発現の関係

による強度の差が認められる。現行の標準曲線は W/C=45%～65% のブレンコンクリートのデータから算出されたものであり、コンクリートの高強度化、混和剤の影響などに対応できていない可能性がある。今後は高強度コンクリートを中心にさらにデータを収集し、標準曲線との強度の乖離が生じる要因を考慮した標準曲線の修正が必要であると考えられる。

5. まとめ

北海道・東北圏の生コン工場および施工会社の実務者を対象としたアンケート調査から、寒中コンクリートの調合計画、養生計画、強度管理に関して以下のような実態が明らかとなり、関連する問題点が抽出された。

(1) 現場における実態について

- 利用される調合計画手法は地域によって異なり、北海道においては指針 6「標準曲線」の採用が多い。
- 多くの技術者が、加熱養生時の養生温度について計画と実績との差異を認識している。
- 実務者の指針の調合計画に対する評価は低い傾向にある。
- 氷点下における積算温度の算定は通常の方法（平均温度 + 10）が一般的に採用されている。
- コンピュータを用いて各種算定ができるようにという希望が高い。

(2) 指針・資料 6 圧縮強度増進標準曲線について

- 現場の実績データと標準曲線の関係は、初期材齢での乖離が大きく、水セメント比が小さいほど大きい。
- 実験室実験においても実績データと同様に、初期材齢時および低水セメント比での標準曲線との乖離が認められる。指針資料 6 に示された標準曲線は水セメント比 45～65% のブレンコンクリートの実験結果をロジスティック曲線で近似した実験式であり、最近のコンクリートの高強度化に対応した見直しが必要であることが示唆された。

(3) 今後の取組

寒中コンクリートは、上屋を設けて内部を採暖するエネルギー多消費型の施工であるが、現場では加熱養生の計画と実績に差異を生じており適正な運用が望まれる。また、氷点下での積算温度の算定方法の確立も今後の課題である。

現在、これらの諸問題に対して日本建築学会においても寒中コンクリート小委員会並びに寒中指針改定 WG が活動中である。

謝辞

本報告の作成にあたり、アンケート実施には日本建築学会北海道支部・寒中コンクリート施工調査研究委員会の皆様、室蘭工業大学院生 小林和寛氏（現 大林組）に多大なご協力をいただきました。記して謝意を表します。

参考文献

- 寒中コンクリート施工指針・同解説、日本建築学会、1998
- 三森敏司、大楽隆男、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, pp. 553～558, 2000. 6
- 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 No. 542, pp. 17～22, 2001. 4

[2008年6月19日原稿受理 2008年8月5日採用決定]