

コンクリートの凍結融解に対する低抵抗性に関する調査

東北建設総合技術事務所 河野正夫

1. 目的

この調査は寒冷地において、冬期間コンクリート中の水が、凍結融解することによってひきおこされるコンクリートの凍害の問題を次の2点について凍害対策の指針を得るため調査するものである。

(1) 室内試験の有用性に関する調査

室内における凍結融解試験(A.S.T.M.C290に準ずるもの)で、コンクリート凍結融解に対する耐久性の相対的目的を得る方法として使われていると、実際の凍害との対応性、すなわち室内試験の有用性。

(2) 配合その他の要因が耐久性に及ぼす効果に関する調査

東北管内のコンクリート構造物の凍害の実態(成功例、失敗例)をつかみ、使用材料、配合、養生環境条件等の凍害への効果を室内実験および現地観測によって分析し、有効な凍害対策の指針を得る。

2. 計画

昭和41年度成果として、室内凍結融解試験と現地気象条件との関連については、室内凍結融解試験(-18℃に凍結させ+5℃に融解させる)のサイクルは現地での-5℃以下に凍結し、0℃以上(又は+5℃以上)で融解したときの温度サイクルに相当することになった。これにより、室内凍結融解試験の信頼性がかなり証明されることになる。従って42年度においては、これを確認するほか、コンクリートの凍結融解に対する耐久性に関連すると思われる因子の影響力を調査するため、実験計画法によって、以下のとおり計画した。

2-1 室内凍結融解試験計画(実験I)

A.S.T.M.C290に準じて行おうもので、コンクリートの耐久性に影響すると考えられる因子を、主として配合の面からとりあげ、それぞれの耐久性におよぼす影響度を調べ、凍害に関する基礎データとするものである。耐久性に影響すると判明した重要な因子については、引き続き詳細な実験を行う。凍害を防止し得る具体的な配合基準をつかむ予定である。

2-1-1 実験-I

今回とりあげる因子と水準は表-1のとおり。

表-1 因子と水準

試験を行う供試体の表-1各因子を実験計画法の直交配列表L₈によって割りつけ表-2の8種類とする。

表-2 配合の種類

因子	水準	配合	配合	配合	配合	配合	配合
1. 骨材	川砂利	砕石	砕石	砕石	砕石	砕石	砕石
2. 骨材の吸水量	少	中	多	少	中	多	少
3. 水セメント比(%)	45%	55%	65%	45%	55%	65%	45%
4. 養生条件	14日間20℃水中養生	14日間20℃水中養生	14日間20℃水中養生	14日間20℃水中養生	14日間20℃水中養生	14日間20℃水中養生	14日間20℃水中養生
5. スラック	5±1cm	5±1cm	5±1cm	5±1cm	5±1cm	5±1cm	5±1cm
6. 養生期間	14日間	14日間	14日間	14日間	14日間	14日間	14日間
7. 養生温度	20℃	20℃	20℃	20℃	20℃	20℃	20℃
8. 養生湿度	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

因子	水準	水準
A. 骨材	川砂利	砕石
B. 骨材の吸水量	少	中
C. 水セメント比(%)	45%	65%
D. 養生条件	5±0.5%	5±0.5%
E. 養生条件	14日間20℃水中養生	14日間20℃水中養生
F. スラック	5±1cm	10±1cm
G. 養生期間	(非常に厳しいところ)	(やや厳しいところ)

注 G(c) は現地試験、実際の現場で行う。

各配合は本(75×10×40cm)ずつ室内凍結融解試験を行う。このほか、各配合2本ずつ圧縮強度、 σ_c , σ_T , σ_{10} , σ_{20} も試験する。

2-1-2 実験 II

特に水セメント比のきき方をみるため、水セメント(W/C)のみ(45%と65%)かえり2組の供試体について各本ずつ室内凍結融解試験を行おう。(表-3)、又、各配合3本ずつ圧縮強度 σ_r , σ_{1k} , σ_{2g} を試験する。

表-3. 配合の種類.

2-2 現地凍結融解試験計画

気象条件、露出条件の違いによる凍害の程度を比較し、

更に室内凍結融解試験の条件との対応を調べる目的で行おう。

配合 No.	骨材	水セメント比	水セメント比(W/C)	水セメント比(W/C)	水和剤	スポンジ (mm)	養生条件
1	9割砂利	少(水工用)	45	52.5	styrufoad	10	20°C
2	"	"	65	"	"	"	"

2-2-1 実験-I

2-1の実験-Iと同じ供試体(7.5×10×40 cm)を各配合2本ずつ表-4aとおり現場に送り、水際と空中で各1本凍結融解を数年間に亘り、繰り返させる。これにより、気象条件をも含めて各因子の現地での凍害への効果を分析する。又、実験IIで室内実験の凍結融解サイクルと寒冷地の気象条件のサイクルの関係がわかるが、その確認ができる。

表-4. 実験-Iの現場設置計画表.

2-2-2 実験-II

2-1の実験-IIと同じ供試体(7.5×10×40 cm)を各配合2本ずつ表-5のB現場に送り水ぎわと空中で凍結融解を数年間に亘り、繰り返させ凍害の進行状況より室内試験サイクルと現地気象サイクル対応性について解析する。逆の面では気象条件の差による凍害の比較が出来る。

配合 No.	気象条件	海岸地帯の現場	山岳地帯の現場
1	非常に厳しい	青森 A	田代 7km
2	やや厳しい	酒田 A	鳴子 7km
3	"	"	"
4	非常に厳しい	青森 A	田代 7km
5	"	"	"
6	やや厳しい	酒田 A	鳴子 7km
7	"	"	"
8	非常に厳しい	青森 A	田代 7km

表-5 実験-IIの現場設置計画表

海岸地帯の現場	青森 A, 青森 B, 酒田 A, 酒田 B.
山岳地帯の現場	田代 7km, 石川 7km, 鳴子 7km, 新庄 折砂 砂防 7km.

2-2-3 現地供試体設置条件

- (1) 空中: 水には接せず風雨は受けるが、雪には包まれる。直射日光は多く当たるところ。
- (2) 水ぎわ: 水に接し、接し方がつくりする状態で、降雨降雪は自然状態のまま受ける。
- (3) 気象データ: 毎日最高気温、最低気温を測定する。できれば降雨、降雪も測定する。
- (4) その他: 供試体の洪水、漂砂、波浪等で紛失しないようにする。又、月2回程度の見廻りを行ない逐次当課担当者に状況を報告する。

2-2-4 現地調査計画

数年間に亘り継続するもので、毎年冬の終り(4~5月)と冬の初め(10~11月)の2回、現地におもむき、写真撮影、重量測定、動弾性係数(供鳴振動法および超音波法)の測定を行おう。この現場付近の気候気温、降雨雪量等のデータ収集、付近の構造物の凍害の実態を調査する。

3. 各現地における気象データよりサイクル数の推定

41年度の成果より室内凍結融解試験と現地気象条件との関連については-18°Cに凍結し、+5°Cで融解する室内凍結融解の1サイクルは現地での-5°Cに凍結し、0°C又は+5°C以上に融解し、この温度サイクルに相当することが明らかに becoming いることから現地における気象データより各現地のサイクル数を推定する。室内試験の-18°C~+5°Cは6~7サイクル/日であるのに対し、現地における冬期

間の凍結融解は最も、最低気温を考慮すれば104%である。調査対象の各現地ごとの最高、最低気温昭和43年1月～4月を記録した結果より、凍結気温-5℃以下融解気温0℃以上として、凍結融解より返し回数も各現地ごとに推定すれば表-6に示すとおりである。

4. 室凍結融解試験とデータ

室凍結融解試験(A.S.T.M C-2P0)によるデータは、動弾性係数及び重量の減少を図-1、図-2に示した。

さらに耐久性指数については表-7に示した。表-7から耐久性に一番良い結果と出たのが、配合No.5であった。以下配合No.7、1、2、8、6、9、4の順で悪くなる。

表-6. 各現地における冬期間(43.1月～4月)凍結融解より返し回数推定表

供試体設置場所	年・月	冬期間回数	冬期間凍結融解回数(推定)
東京都八王子市(田舎)	43.1月～4月	1	約17回
青森(A)海岸	?	?	27
田舎(山)	?	?	39
畑(山)	?	?	15
石炭(山)	?	?	21
新庄(山)	?	?	20
柳田(A)海岸	?	?	1
酒田(B)海岸	?	?	3

図-1 凍結融解より返し回数と動弾性係数比(3本の平均)

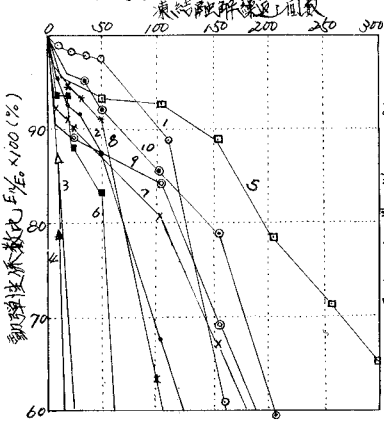
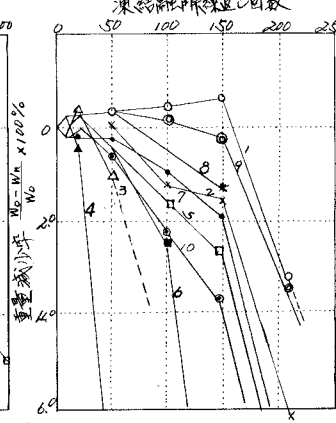


図-2 凍結融解より返し回数と重量減少率(3本の平均)



凡例

配合No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
記号	○	●	△	▲	□	■	×	*	◎	①

表-7 耐久性指数(3本の平均)

配合No.	動弾性係数比(%)	N	PxN	耐久性指数(%)	耐久性指数の順位(良い方)
1	60	157	8420	31.4	5
2	7	122	7320	24.4	4
3	7	10	620	2.9	7
4	7	7	420	1.4	8
5	64.6	980	15380	64.6	1
6	60	71	4260	14.2	6
7	7	177	10620	35.4	2
8	7	106	6360	21.2	3
9	7	190	11420	33.0	4
10	7	214	12860	42.3	3

注 $DF = \frac{P_x N}{M} \times \frac{E_0}{E_n} \times 100 (\%)$
 ここで P_x : N14711における動弾性係数比(%)
 N : 試験を終了した所定N14711数又は P_x が60%に低下したN14711数
 M : 所定のN14711数(一般に300 N14711を3)
 E_0 : 0 N14711の動弾性係数
 E_n : N14711の動弾性係数

5. 解析

5-1 室凍結融解試験(実験-1)の解析と考察

室凍結融解試験結果による表-7の耐久性指数から各因子(表-1参照)の影響を調べたのが表-8である。分散分析のデータとしては各配合3本の平均値を用いた。表-8から、因子A、B、D、E、おのわち骨材、吸水量、空気量および養生条件の4つが耐久性に影響し、因子Cの水セメント比においては水セメント比の影響の少ないことがわかった。このことは、コンクリート標準示方書に規定されている。耐久性を良くするためには水セメント比を小さくし、骨材の割合を大きくし、空気量を少なくし、養生条件を良くすることである。この結果から耐久性に強いコンクリートは、コンクリート標準示方書に示すとおり、清潔、強硬で吸水量の少ないものを使用し、しかも空気量を少なくすれば、骨材の割合を大きくし、水セメント比を小さくし、養生条件を良くすることである。この骨材は適当な粒度をもち、粗石、細長い石片、有機物等の有害量を含んでおらず、かつ、水セメント比に関係なく耐久性には、良いコンクリートは、良いコンクリートは、良いコンクリートである。この骨材は適当な粒度をもち、粗石、細長い石片、有機物等の有害量を含んでおらず、かつ、水セメント比に関係なく耐久性には、良いコンクリートは、良いコンクリートである。

② したがって、重量減少率が40%に達した時のN14711数について同様の計算を行なったところ表-9のよう

だった。この結果は耐久性指数による解析と各要因のきき方において大きく違っている。

これらを総合してみると次のようにいえる。

- ①水セメント比から強度がきまってくるが、水セメント比(り強度)から耐久性(りかひ)にきまってくる。耐久性指数に最もきくは骨材の質と空気量である。(表-8)
- ②逆に、コンクリートの耐久性が乏しくて凍結融解のくり返しで損傷が起してくると、それにつれて強度が次第に下がっていくことは当然である。
- ③重量減少率はコンクリート表面の損傷崩壊の程度を示すものと考えられるが、これは骨材の質、空気量、水セメント比の影響する(表-9)が水セメント比が支配的の割合をもち、水セメント比が65%と悪くすると、同じ重量減少に45%の時の半分の凍結融解サイクルでなってしまう。これはセメントペーストの強弱(貧富)が表面損傷に影響することを示していると思われる。
- ④従って、耐久性の改善する方向、強度低下を主眼とするか、表面破損を問題にするかによって、配合設計に差をつけると良いことにはなると思われる。

以上は一つの実験結果から推定されたものであり、更に確認実験を行わなければならないと思われる。又、現場に設置した試験体データからでも導き出されることがあろう。耐久性指数と重量減少率の関係の不一致を説明するためには、コンクリートの強度、水セメントペーストと骨材の熱膨張(収縮)係数についてデータを解析する必要があると思われる。

表-8 耐久指数による分散分析(2)

分散分析表
α-耐久指数(%)

測定法 ヤング率
試験体 No.1~3
材 全 耐久指数
300V97L

要因	水準	変動	自由度	分散	平均	標準偏差	標準誤差	検定	信頼
A	15.92	76.2	22.5	3.85	1	72.5	4.31	1.76	14.9
B	104.6	76.6	49.5	6.65	1	49.5	4.61	1.90	33.85
C	112.4	36.2	114	0.05	1	114.05	-	-	28.1
D	133.4	72.2	65.1	6.05	1	65.1	4.22	1.70	33.35
E	63.3	57	406	1.25	1	406.125	2.67	1.72	24.45
F	32.4	27.5	111	0.05	1	111.05	-	-	20.6
G	118.6	62.6	22.5	3.65	1	22.5	4.31	1.76	14.9
計	-	-	57	3.5	7	27.91	0.35	1.00	100
誤差	-	-	56	0.05	1	0.05	-	-	0.05
全	-	-	113	3.55	7	27.96	0.35	1.00	100

表-9 重量減少率による分散分析(2)

分散分析表

X = 40% 減少時のサイクル数(00)

要因	水準	変動	自由度	分散	平均	標準偏差	標準誤差	検定	信頼
A	15.92	112	156.8	1	156.8	10.64	5.17	12.85	157.5
B	67.6	204	152.2	1	152.2	25.31	5.41	16.90	113.0
C	75.4	360	162.00	1	162.00	10.95	5.45	15.85	23.5
D	66.4	180	405.0	1	405.0	27.49	14.21	166.0	121.0
E	153.6	24	72	1	72	6.00	2.45	14.5	16.5
F	56.6	16	32	1	32	4.00	2.00	16.1	16.5
G	600	52	33.8	1	33.8	1.84	1.36	11.40	11.40
計	-	-	57	2.5	7	27.91	0.35	1.00	100
誤差	-	-	56	0.05	1	0.05	-	-	0.05
全	-	-	113	2.55	7	27.96	0.35	1.00	100

4-2 凍結融解試験(実験-II)の解析と考察

水セメント比のちがひによる影響力を調べたわけであるが実験-Iから明らかとなり、水セメント比による影響は小さかった。実験耐久指数の差(配合No.9,10)は少く水セメント比45%のNo.9より65%のNo.10より45%小さいという逆の値にのった。(図-1,表-7) 2カ、重量減少率をみれば45%の方が良い結果になっている。

6 あとがき

主として、実用凍結融解試験の結果をまとめ、現地に設置したコンクリートの耐久性について、数年間測定後とみるものである。今回の実験から、水セメント比のちがひによる耐久性の影響は小さいこととなり、従来考えられていたこととは若干異なる結果と見たことは注目すべきであると思ふ。又、今後別種の骨材を用いたコンクリートについて、及び各因子の交互作用についても検討すべきであると思われる。