

# 繰返し冷熱衝撃を受けたコンクリートの性質に関する研究

東北大学 学生員 ○ 小島 宏

東北大学 学生員 岡田孝一

東北大学 学生員 小関邦男

## 1. まえがき

近年、極低温の液化天然ガス（LNG）の貯蔵タンクが鉄筋コンクリートあるいはプレストレストコンクリートで作られ、さらに運搬用船舶も作られようとしている。この場合、液化天然ガスの出し入れにより、コンクリートは繰返し冷熱衝撃を受け劣化すること考えられる。これまで繰返し冷熱衝撃を受けたコンクリートの劣化に関する研究は、あまり行なわれていない。本研究は、コンクリートの配合や含水量がコンクリートの劣化に与える影響、及びコンクリートの配合、含水量、及び冷却速度が、冷却されたコンクリートの歪変化に与える影響を比較検討したものである。

## 2. 実験材料及び配合

実験に用いたセメントは、住友早強ポルトランドセメント、細骨材は、宮城県白石川産川砂、粗骨材は、宮城県丸森産碎石である。使用した混和剤は、ポリアルキルアリルスルホン酸塩を主成分とする減水剤、および天然樹脂酸塩を主成分とするAE剤である。表-1に実験に用いたコンクリートの配合を示す。

## 3. 実験方法

### (1) 繰返し冷熱衝撃試験

この試験では、 $10 \times 10 \times 40$  cmの角柱供試体を使用した。この供試体を液体窒素中に漬け、供試体中心温度が $-196^{\circ}\text{C}$ になった後、水中又は空气中に放置し常温

にもどした。これを冷熱衝撃の1サイクルとし、1日1サイクルの割合で冷熱衝撃を与え、各サイクルごとに常温にもどした後、動弾性係数を測定した。この場合、供試体を $-196^{\circ}\text{C}$ に冷却するのに約30分を要し、その後 $0^{\circ}\text{C}$ にもどるのに、 $20^{\circ}\text{C}$ の水中では約35分、 $20^{\circ}\text{C}$ の空气中では約6時間を要した。コンクリートの配合が劣化に与える影響を調べる試験では、表-1に示す8種類の配合の供試体を28日間水中養生した後、上記の方法で冷熱衝撃を与え、水中で常温にもどした。コンクリートの含水量が劣化に与える影響を調べる試験では、表-1の配合No. 1, 3, 5, 7の4種類について行ない、供試体を28日間水中養生した後、 $110^{\circ}\text{C}$ の乾燥炉に入れ、乾燥時間に差をつけることにより含水量を変化させた。この供試体は、冷熱衝撃を与えた後空气中で常温にもどした。なお含水量を変化させた供試体は、冷却後直ちにアルミ箔を巻き、霜の付着と供試体からの水分の蒸発を防いだ。

### (2) 歪測定試験

この試験では、 $10 \times 10 \times 40$  cmの角柱供試体に低温用歪ゲージを貼り、液体窒素に漬けて急冷させた時又は断熱材を巻いて冷却速度を遅くした時の供試体の歪変化を測定した。また同時に供試体中心及び表面温度を熱電対により連続的に測定し、測定歪の温度補正に用いた。以上の方法で、表-1の8種類の配合と配合No. 1の供試体から含水量を約2%除去したものについても試験を行なった。

表-1 コンクリートの配合

| 配合<br>No | 粗骨材<br>最大径<br>(mm) | 細骨材<br>の範囲<br>(mm) | 空気量<br>の範囲<br>(%) | 水<br>比<br>(%) | 水<br>量<br>(%) | 単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> ) |      |     |      |      |       |
|----------|--------------------|--------------------|-------------------|---------------|---------------|----------------------------|------|-----|------|------|-------|
|          |                    |                    |                   |               |               | 水                          | セメント | 細骨材 | 粗骨材  | 混和剤  | AE剤   |
| 1        | 25                 | 11±1               | 2±0.5             | 56            | 42            | 194                        | 346  | 710 | 1125 | —    | —     |
| 2        | 25                 | 11±1               | 6±0.5             | 56            | 40            | 170                        | 304  | 678 | 1155 | —    | 0.152 |
| 3        | 25                 | 11±1               | 2±0.5             | 46            | 40            | 165                        | 359  | 706 | 1200 | 2.15 | —     |
| 4        | 25                 | 11±1               | 6±0.5             | 46            | 38            | 154                        | 335  | 650 | 1204 | 2.01 | 0.235 |
| 5        | 25                 | 11±1               | 2±0.5             | 36            | 37            | 155                        | 431  | 641 | 1237 | 5.17 | —     |
| 6        | 25                 | 11±1               | 6±0.5             | 36            | 35            | 135                        | 375  | 604 | 1273 | 4.50 | 0.375 |
| 7        | 25                 | 11±1               | 2±0.5             | 26            | 35            | 156                        | 600  | 557 | 1175 | 9.00 | —     |
| 8        | 25                 | 11±1               | 6±0.5             | 26            | 33            | 137                        | 527  | 527 | 1215 | 7.91 | 0.791 |

#### 4 実験結果及び考察

##### (1) 繰返し冷熱衝撃試験

コンクリートの配合を変えたときの劣化の進行を図-1に示す。このグラフにより、コンクリートの既け小さいほど冷熱衝撃に対する耐久性が大きいことがわかる。また既け大きい場合には、Non-AEコンクリートよりAEコンクリートのほうが耐久性が大きい。既け36%より小さい供試体では、Non-AEコンクリートとAEコンクリートの差は小さい。

コンクリートの含水量を変えたときの劣化の進行について、既け46%（配合3）を例にとって図-2に示す。このグラフにより、含水量が小さくなるにしたがってコンクリートは劣化しにくくなり、1%前後の含水量減少でかなり耐久性が向上するが、それ以上含水量が減少しても耐久性がそれほど向上しないことがわかる。これは他の配合についても同じ傾向が見られる。

図-1と図-2の結果を比較すると、冷熱衝撃によるコンクリートの劣化に対して、水セメント比や空気量などの因子も影響を与えるが、最も大きな影響を及ぼす因子は、コンクリートの含水量であると言える。すなわち、コンクリート中に水で飽和されていない空げきの量がある程度以上あると、コンクリート中の水が凍結するときの圧力がやわらげられ、コンクリートの組織の破壊が少なくなると考えられる。

##### (2) 歪測定試験

冷熱衝撃を受けるコンクリートの歪変化の測定結果を図-3に示す。横軸には、供試体表面温度、縦軸には、温度補正した歪を示す。この結果より、コンクリートは冷却されるにしたがって、収縮歪を起すことがわかる。断熱材を巻いた供試体は、表面温度が $-50^{\circ}\text{C}$ 付近で一旦膨張するが、これはコンクリート中の水分が凍結するためであり、含水量を2%除去し断熱材を巻いた供試体では、この膨張は起らなかった。また含水量を2%除去し断熱材を巻かなかった供試体でも、上記の膨張は起らなかったと思われる。水中養生のままの供試体で、 $-196^{\circ}\text{C}$ の時の収縮量が小さく現われるのは、急激な冷却のため上記の膨張が大きく出たためと思われる。その一部は常温にもどした時に残留膨張として現われる。既けを小さくすると収縮歪が大きく現われるのは、コンクリート中の含水量が少ないため上記の膨張が小さくなるためと思われる。

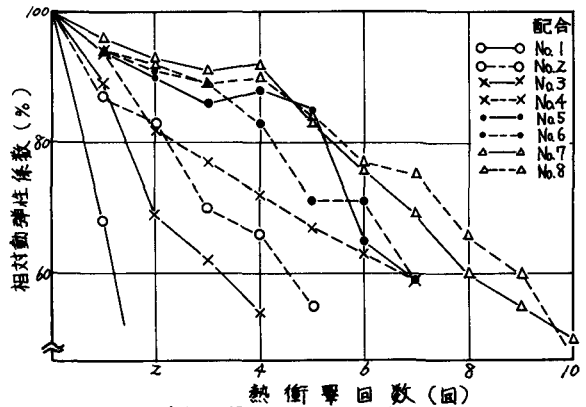


図-1 冷熱衝撃による劣化状態と配合との関係

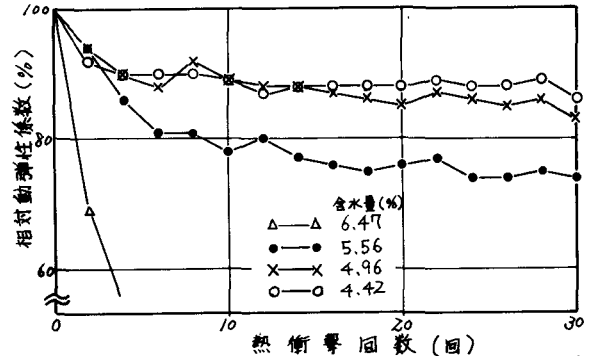


図-2 冷熱衝撃による劣化状態（既け46% 配合No.3）

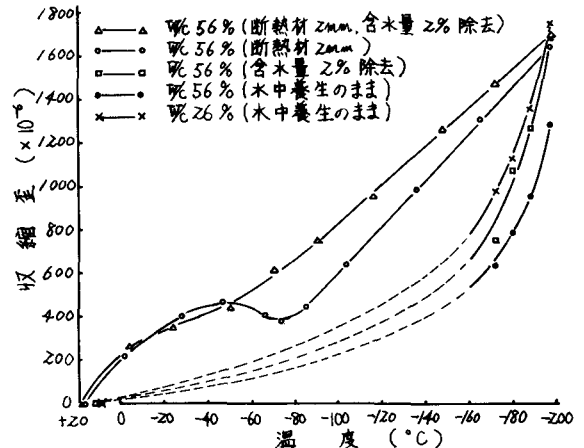


図-3 歪測定試験の結果