

水の凍結圧力を利用したコンクリート構造物の破砕技術に関する研究

STUDIES ON THE CRUSHING TECHNIQUE OF CONCRETE STRUCTURES UTILIZING PRESSURE RISE DUE TO FREEZING OF WATER FILLED IN A CIRCULAR TUBE.

鈴木 信也*¹, 三輪 明広*¹
Shinya SUZUKI and Akihiro MIWA

The construction of recent urban, often dismantle the existing buildings. In particular, dismantling of the underground, the case for dismantling the large reinforced concrete members has been increasing. Dismantling of large reinforced concrete member, there is a striking sound and vibration and dust is generated problem. For this reason, small dismantling method of environmental impact to the construction site around has been demanded. We have developed a "Crushing technique of Concrete Structures utilizing Pressure Rise due to Freezing of Water Filled in a Circular Tube". In this paper, we report on the freeze fracturing experiment with the principles of technology.

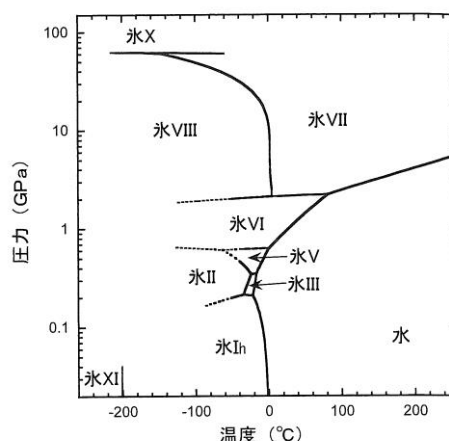
Keywords : *Freezing pressure, Concrete Structures, Freezing technology*
 凍結圧力, コンクリート構造物, 凍結技術

1. はじめに

昨今の都市部の建築工事では、ほとんどの場合、既存建物の解体工事を伴い、大規模な既存建物を解体することも多く、とくに地下の解体では基礎梁、フーチング、造成杭などの大型鉄筋コンクリート部材を解体する事例が増えてきている。このような大型基礎の解体は、大きな打撃音、振動、粉塵などが連続的に発生するという問題点があり、工事現場周辺への環境負荷の小さい解体工法が求められている。筆者らは、水の凍結膨張圧をコンクリート構造物に与え、一定間隔でひび割れを入れ、ブロック割りすることを容易にする「水の凍結圧力を利用したコンクリート構造物破砕技術」を開発した。本報告では、本技術の原理と凍結破砕実験について報告する。

2. 凍結破砕の原理

水が凍るときに体積膨張を伴うことは一般によく知られた現象であり、冷凍庫に入れた飲料水のガラス瓶が中身の凍結により体積膨張を起こし、瓶が割れてしまうことはよく目にする光景である。これは大気圧下において水は 0℃で凍り、そのときに約 9%の体積膨張を起こすことにより、ガラス瓶の中の圧力が上昇し、ついにはガラス瓶が破砕に至るためである。図 - 1 に水の状態図¹⁾、表 - 1 に氷を含む三重点¹⁾を示す。1 気圧時の水の氷点は 0℃であるが、圧力が上昇すると氷点は下がり 209MPa、-22.3℃にて全ての水が氷となる。これはすなわち密閉状態



b 水の状態図 (20MPa ~ 150GPa)

図 - 1 水の状態図¹⁾

表 - 1 氷を含む水の三重点¹⁾

	圧力 (MPa)	温度 (°C)
L-vap.-Ih	0.0006	+0.01
L-Ih-III	209	-22.3
L-III-V	350	-17.5
L-V-VI	632	0.1
L-VI-VII	2210	81.6
Ih-II-III	213	-34.7
II-III-V	344	-24.3
IV-VII-VIII	2100	~0
Ih-XI-vap	~0	-201

L:水, vap:水蒸気, Ih~XI:図 b, 水の状態図 (20MPa~150GPa) 中の氷記号を示す。

*1 戸田建設備技術開発センター

Research and Development Center, TODA CORPORATION

にある水を-22.3℃以下に温度降下させると最大209MPaまで内圧が上昇することを意味する。この性質を利用してコンクリートを破砕するのが凍結破砕の原理である。

この水の凍結膨張圧を利用し、コンクリート構造物を破砕するために、水を密閉する容器に鋼管を用いた。図-2に冷凍管を示す。冷凍管内部に冷却管を設置し、冷却管内部に充填した水を冷却する機構である。図-3にシステム構成図を示す。冷凍機で-30℃に冷却したブライン（塩化カルシウム水溶液）を循環することにより、冷凍管内部に充填した水を-22.3℃以下に冷却すると冷凍管内に充填した水が凍結し凍結膨張圧が発生する。図-4に応力発生概念図を示す。凍結膨張圧が冷凍管外管、間詰グラウトを介してコンクリート構造物に伝達し冷凍管装填孔の法線方向に圧縮応力、これと直行する方向に引張応力が発生する。発生した引張応力が破砕対象物の引張強度以上に達すると破砕対象物は破砕に至る。

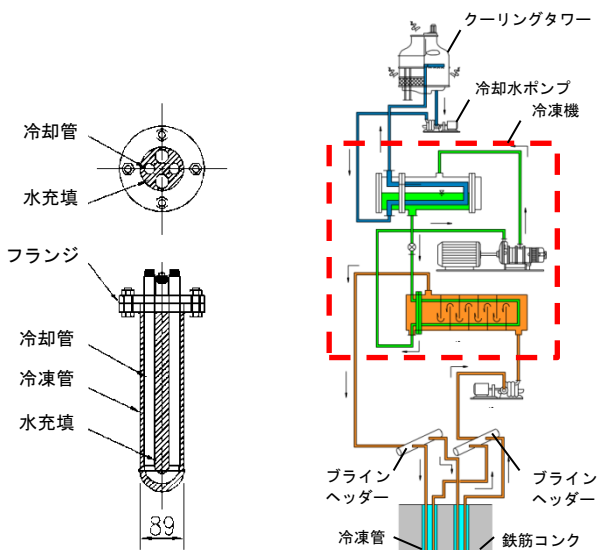


図-2 冷凍管

図-3 システム構成図

3. 基礎実験

3.1 冷凍管凍結実験

冷凍管内部に充填した水が凍結した時に、密閉状態を確保したまま膨張することを確認するために冷凍管凍結実験を実施した。写真-1に冷凍管を示す。冷凍管の外管はφ114.3mm×t4.5mm (SGP)、冷却管はφ21.7mm×t2.8mm (SGP)を用いた。写真-1に示す冷凍管内の水を冷却すると膨張圧は冷凍管には内圧として作用する。膨張圧 (P_0) を冷凍管外周面に貼付した歪ゲージにより冷凍管円周方向歪 (ϵ_θ)、軸方向歪 (ϵ_z) の値を測定し式 (1) により算定した²⁾。

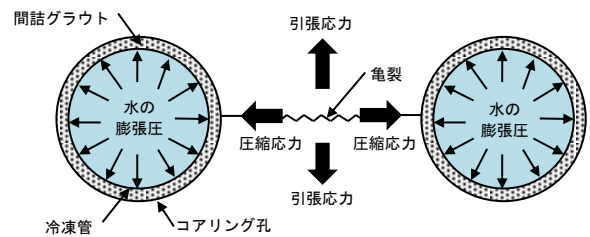


図-4 応力発生概念図



写真-1 冷凍管

$$P_0 = \frac{E_s (k^2 - 1)}{2 (1 - \nu_s^2)} (\epsilon_\theta + \nu_s \epsilon_z) \dots (1)$$

- E_s : 鋼管の弾性係数
- ν_s : 鋼管のポアソン比
- k : 鋼管の外内径比
- ϵ_θ : 円周方向歪
- ϵ_z : 軸方向歪

図-5に表面温度と円周方向歪、軸方向歪の関係、図-6に表面温度と鋼管内部圧力の関係を示す。表面温度が-0.5℃の時に円周方向の歪が1000μを超えた。-0.5℃の時の圧力は24.1MPaであった。-0.5℃以下の圧力は鋼管が降伏しており参考値となるが、鋼管内に充填した水が漏れることなく凍結膨張し、鋼管の歪が増大していることがわかる。-30℃においても、密閉状況を確認できていることを目視にて確認した。

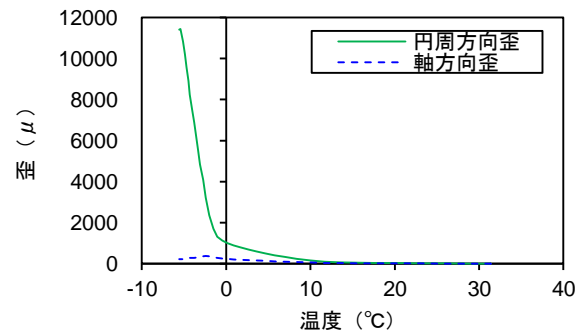


図-5 表面温度と鋼管円周方向歪、軸方向歪の関係

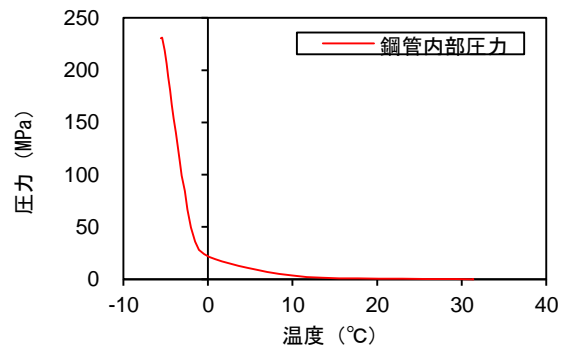


図-6 表面温度と管内部圧力

3.2 鉄筋コンクリート部材破砕実験

鉄筋コンクリート部材を破砕できることを確認するために、高さ1m、幅1m、長さ1m(鉄筋量:0.97%、コンクリート圧縮強度:40.9N/mm²)の鉄筋コンクリート部材を作製し、破砕実験を行った。試験体は3体作製し、冷凍管の設置本数を1本、2本、3本とし

た。冷凍管 1 本の試験体は、ダイヤモンドコアドリルで鉄筋を切断し、鉄筋による拘束を無くした。冷凍管の外管は $\phi 89.1\text{mm} \times t 4.2\text{mm}$ (SGP)、冷却管は $\phi 21.7\text{mm} \times t 2.8\text{mm}$ (SGP) を用いた。鉄筋コンクリート部材にあらかじめ設けた $\phi 105\text{mm} \times L 850\text{mm}$ の穴に冷凍管を挿入し、隙間にはグラウト材を充填した。冷凍管内部に水を充填し、冷却管内にブライン（塩化カルシウム溶液）を循環し、水の冷却を行った。

写真 - 2 に破碎状況を示す。全ての試験体において、ひび割れが発生した。鉄筋量 0.97% 程度のコンクリート構造物は、冷凍管 2 本で破碎できることを確認した。図 - 7 に冷凍管 3 本のひび割れ幅の経時変化を示す。冷凍機を運転開始してから、90 分でひび割れが発生し、ひび割れの拡張は 205 分で終了した。図 - 8 に冷凍管 3 本の上部と下部の温度の経時変化を示す。冷却管 A の上部の温度は、熱電対断線し温度を計測ができなかった。ひび割れ発生時のブライン温度は、 -13.7°C であり、ひび割れ拡張終了時のブライン温度は -26.7°C であった。ブライン温度は

-26.7°C まで冷却できる冷凍機を用いれば、本技術を適用できることを確認した。また、冷凍機を 3.5 時間以上運転すれば、ひび割れの拡張は終了し、冷凍機の運転を停止できることを確認した。

3.3 鉄筋コンクリート柱の破碎実験

鉄筋コンクリート柱部材を破碎できることを確認するために、500mm 角、高さ 2300mm の柱の凍結破碎実験を 2 体実施した。柱主筋は 4-D16 (SD295)、帯筋は D10 (SD295@200mm)、コンクリートの設計強度は 24N/mm^2 である。冷凍管は $\phi 89.1\text{mm} \times t 4.2\text{mm}$ (SGP)、冷却管は $\phi 21.7\text{mm} \times t 2.8\text{mm}$ (SGP) を用いた。冷凍管は側面に 4 本配置した試験体と柱上面に 1 本配置した試験体を作製した。写真 - 3 に柱破碎状況を示す。冷凍管を側面に配置した試験体は、冷凍管を中心に放射状にひび割れが発生した。凍結管を上面に配置した試験体は、柱を割り裂くような縦方向のひび割れが発生した。冷凍管を用いて、柱にひび割れを発生させることができることを確認した。



冷凍管 1 本 冷凍管 2 本 冷凍管 3 本
写真 - 2 破碎状況



破砕管側面配置 破砕管上面配置
写真 - 3 柱破碎状況

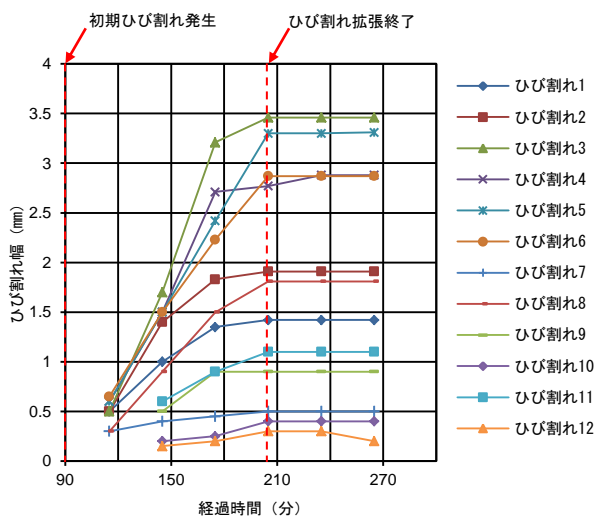


図 - 7 ひび割れ幅の経時変化 (冷凍管 3 本)

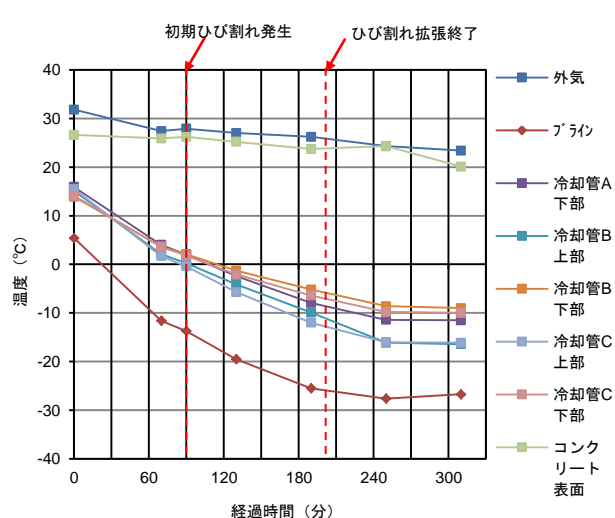


図 - 8 温度の経時変化 (冷凍管 3 本)

3.4 地中梁破砕検証実験

鉄筋コンクリートの地中梁を破砕できることを確認するとともに、冷凍管間隔を確認するために、地中梁の破砕実験を実施した。図-9に試験体図を示す。コンクリートの設計強度は 21N/mm^2 である。配筋は短辺方向がD10@200ダブル(SD295A)、長辺方向は、D16@200ダブル(SD295A)である。冷凍管の間隔は、500mm, 1000mm, 1400mm, 1500mm, 2000mmとし、埋め込み深さは、400mmとした。写真-4に破砕状況を示す。全ての冷凍管の間にひび割れが発生した。鋼管間隔を2000mmとしても、地中梁にひび割れが発生することを確認した。

ひび割れが内部まで入っていることを確認する為に、ひび割れ方向に対して垂直にカッターを入れ、試験体の裏側まで貫通していることを確認した。試験体の半分を重機で破砕し、解体時のひび割れの影響を確認した。重機によるコンクリートの圧砕はひび割れ部でとまり、鉄筋だけが残り、ひび割れ部でコンクリートの縁が切れていることを確認した。鉄筋はガスで切断し、コンクリート部材をブロック化して搬出した。写真-5にブロック化の状況を示す。

ひび割れ幅を拡張し、鉄筋をガス切断することができれば、コンクリート部材のブロック解体が可能になると考えられる。

3.5 杭頭余盛コンクリート破砕実験

余盛コンクリートに水平方向のひび割れを発生させ、ひび割れ状況を確認するために、現場造成杭の杭頭を模擬した試験体を作成し、杭頭余盛コンクリート破砕実験を実施した。試験体は $\phi 1800\text{mm} \times h 1300\text{mm}$ と $\phi 2500\text{mm} \times h 1300\text{mm}$ とした。 $\phi 1800$ の試験体図を図-10に示す。想定した杭天端から100mm高い位置に冷凍管を三本設置した。また、鉄筋は養生材によりコンクリートの付着を除去した。

冷凍管の冷却は液体窒素を用いて行った。破壊状況を写真-6に示す。冷却開始後、約15分でひび割れが発生した。冷却は、冷却開始後約25分で停止した。ひび割れ幅は約4~10mm程度であった。

余盛コンクリート撤去状況を写真-7に示す。水平ひび割れ発生後、揚重機を用いて、余盛コンクリートの撤去を行った。主筋の付着を切ることで、余盛コンクリート研ることなく、撤去できることを確認した。

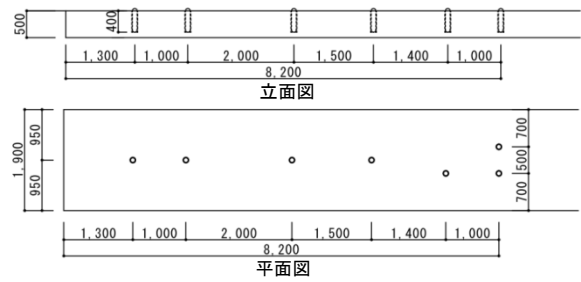


図-9 試験体図



写真-4 地中梁破砕状況



写真-5 ブロック化の状況(写真-4斜線部分)



$\phi 1800$

$\phi 2500$

写真-6 破砕状況

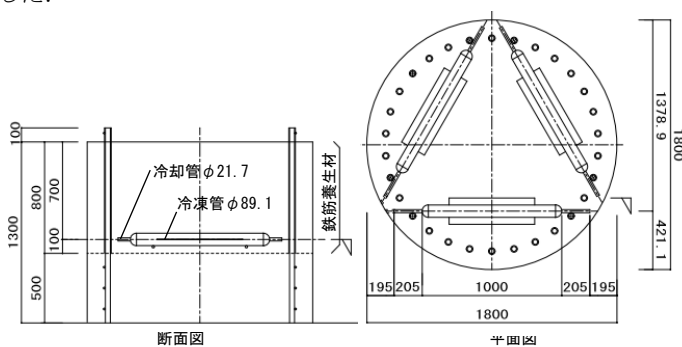


図-10 試験体図($\phi 1800\text{mm}$)



写真-7 余盛コンクリート撤去状況

4. まとめ

冷凍管を用いて水の凍結膨張圧により、コンクリート構造物にひび割れが発生することを確認した。杭頭の余盛コンクリートは主筋の付着を切ることでブロック解体が可能である。鉄筋を切断する為には、更なるひび割れ幅の拡張の検討が課題である。

本技術を用いて、基礎梁、フーチング、造成杭などの大型鉄筋コンクリート部材をブロック状に分断することで、低騒音・低振動・少粉塵で解体し、近隣環境への負荷を低減することで、地域社会に貢献できれば幸いである。

謝辞

本技術の開発にご尽力いただいた、株式会社精研小椋浩氏、植木和幸氏には心より感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本雪氷学会編：新版 雪氷辞典，付録Ⅱ水の状態，pp.240，日本雪氷学会，2014.
- 2) 原田哲夫ほか：静的破壊剤を用いたコンクリートの解体に関する基礎的研究，土木学会論文集第 360 号，V-3，pp61-70，1985.8