

水の凍結膨張圧を利用した 「コンクリート構造物破壊技術」

三輪 明 広・小 椋 浩・植 木 和 幸

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。

そこで今回、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「コンクリート構造物破壊技術」を開発した。本報告では、本技術の原理と凍結破壊実験について報告する。

キーワード：水、凍結膨張圧、コンクリート構造物、破壊

1. はじめに

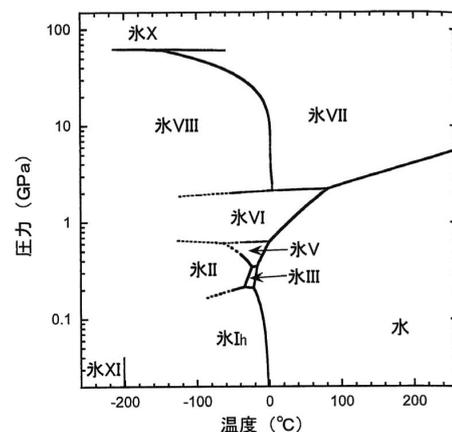
昨今の都市部の建築工事では、ほとんどの場合、既存建物の解体工事を伴い、大規模な既存建物を解体することも多く、とくに地下の解体では基礎梁、フーチング、造成杭などの大型鉄筋コンクリート部材を解体する事例が増えてきている。このような大型基礎の解体は、通常の圧碎機では爪幅が足りずに噛み砕くことができないため、一般的には大型ブレーカによる打撃を繰り返すことで破壊する。しかし、ブレーカ工法は、大きな打撃音、振動、粉塵などが連続的に発生するという問題点があり、工事現場周辺への環境負荷の小さい解体工法が求められている。

そこで今回、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「コンクリート構造物破壊技術」（以下、本技術）を開発した。コンクリートに一定間隔で削孔し、その小径孔に水を充填し冷媒を循環させ凍結させる。これによって凍結膨張圧が発生し、鉄筋周りのかぶりコンクリートが破壊・除去されるとともに、部材の内部に亀裂を貫通させることが可能である。その後外周に露出した鉄筋をガス溶断することで、容易にブロック状に分断することが可能となる。大型ブレーカを使うことなく解体することができるため周辺への騒音・振動負荷を軽減できる。

本報告では、本技術の原理と凍結破壊実験について報告する。

2. 凍結破壊の原理

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壊に至るためである。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209 MPa、-22.3℃にて全ての水が氷となる。これはすなわち密閉状態にある水を-22.3℃以下に温度降下させると最大209 MPaまで内圧が上昇



b 水の状態図 (20MPa ~ 150GPa)

図—1 水の状態図

表一 氷を含む水の三重点

	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
VI - VII - VIII	2100	~ 0
Ih - XI - vap.	~ 0	-201

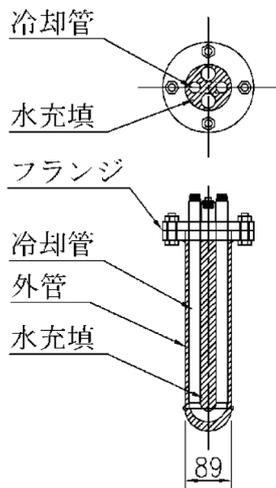
L: 水, vap.: 水蒸気, Ih~XI: 図 b 水の状態図 (20MPa ~ 150GPa) 中の氷の記号を示す。

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壊するのが凍結破壊の原理である。

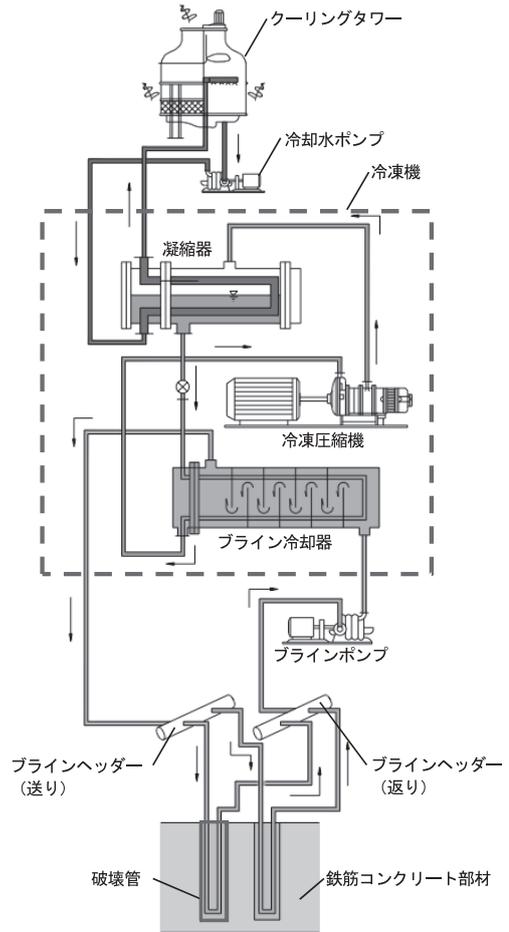
この水の凍結膨張圧を利用し、コンクリート構造物を破壊するために、水を密閉する容器に銅管を用いた。図一2に破壊管を示す。破壊管内部に冷却管を設置し、破壊管内部充填した水を冷却する機構である。図一3にシステム構成図を示す。冷凍機で-30℃に冷却したブライン（塩化カルシウム水溶液）を循環することにより、破壊管内部に充填した水を-22.3℃以下に冷却すると破壊管内部に充填した水が凍結し凍結膨張圧が発生する。図一4に応力発生概念図を示す。膨張圧が破壊管外管、間詰グラウトを介してコンクリート塊に伝達し破壊管装填孔の法線方向に圧縮応力、これと直行する方向に引張応力が発生する。発生した引張応力が破壊対象物の引張強度以上に達すると破壊対象物は破壊に至る。

3. 凍結破壊実験

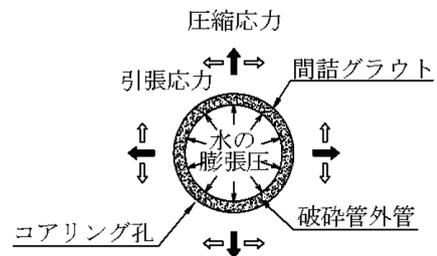
本技術を実用化するために、凍結破壊管凍結実験、鉄筋コンクリート部材破壊実験、柱破壊実験、地中梁破壊実験を行った。



図一2 破壊管



図一3 システム構成図



図一4 応力発生概念図

(1) 破壊管凍結実験

破壊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ことを目的に破壊管凍結実験を実施した。写真一1に破壊管を示す。破壊管の外管はφ114.3 mm × t4.5 mm (SGP),



写真一1 破壊管

冷却管はφ 21.7 mm × t2.8 mm (SGP) を用いた。破壊管中央に歪ゲージ及び熱電対を設置し、鋼管の歪と温度を計測した。鋼管の内圧は外管法²⁾により下式で求めた。

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

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

図-5 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24.11 MPa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、密閉状況を確保できていることを目視にて確認した。

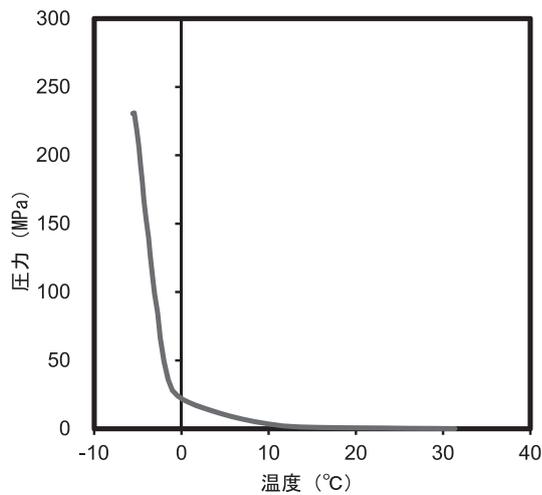


図-5 表面温度と鋼管内部圧力

(2) 鉄筋コンクリート部材破壊実験

鉄筋コンクリート部材を破壊できることを確認するために、高さ1 m、幅1 m、長さ1 m (鉄筋量:0.97%、コンクリート圧縮強度:40.9 N/mm²) の鉄筋コンクリート部材を作成し、破壊実験を行った。試験体は3体作成し、破壊管の設置本数を1本、2本、3本とした。破壊管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。破壊管の外管はφ 89.1 mm × t4.2 mm (SGP)、冷却管はφ 21.7 mm × t2.8 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φ 105 mm × L850 mm の穴に破壊管を挿入し、隙間にはグラウト材を充填した。破壊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 に破壊状況を示す。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、破壊管2本で破壊できることを確認した。図-6 に破壊管3本のひび割れ幅の経時変化を示す。冷凍機運転開始してから、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-7 に温度の計時変化を示す。ひび割れ発生時のブライ

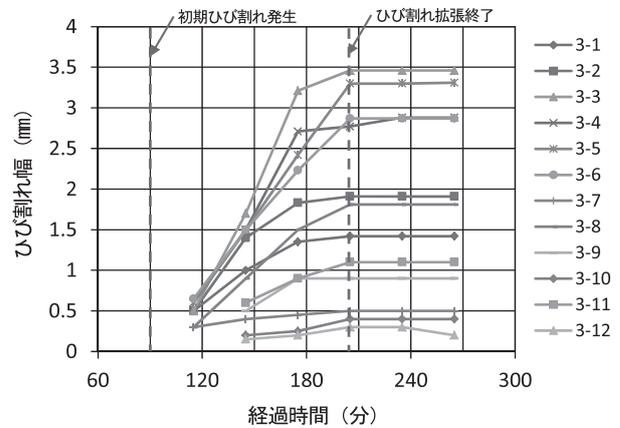
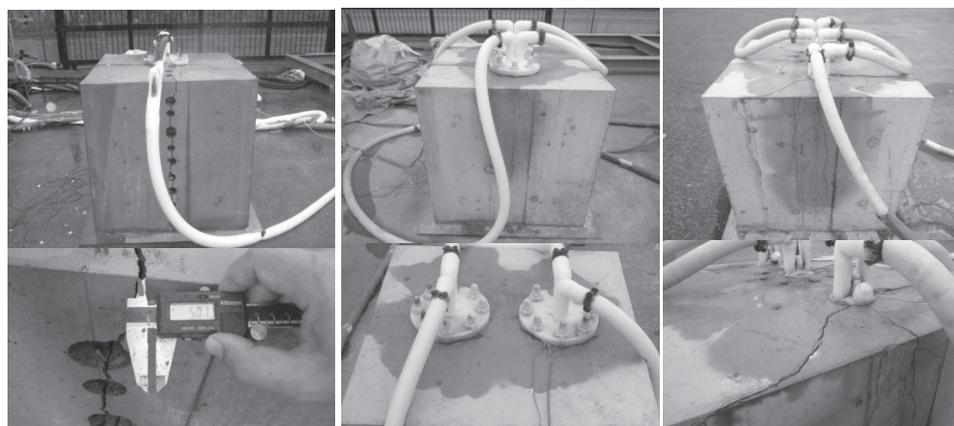


図-6 ひび割れ幅の経時変化 (破壊管3本)

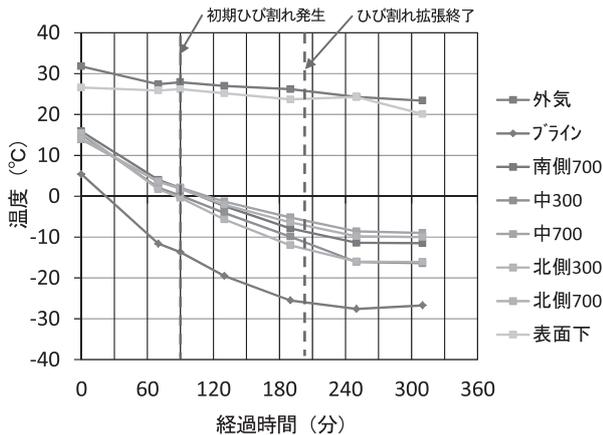


破壊管1本

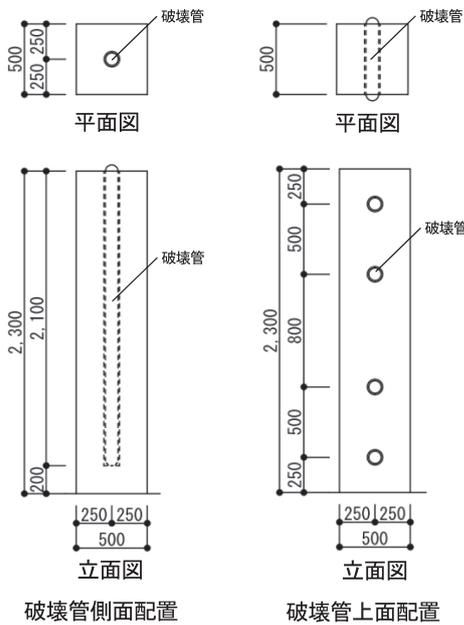
破壊管2本

破壊管3本

写真-2 破壊状況



図一七 温度の経時変化

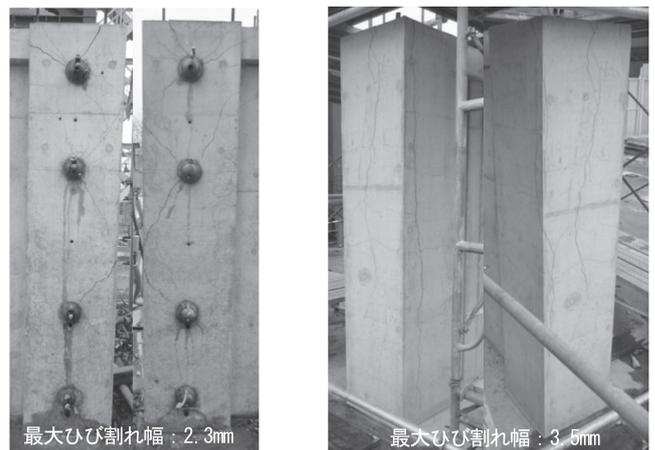


図一八 試験体図

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。

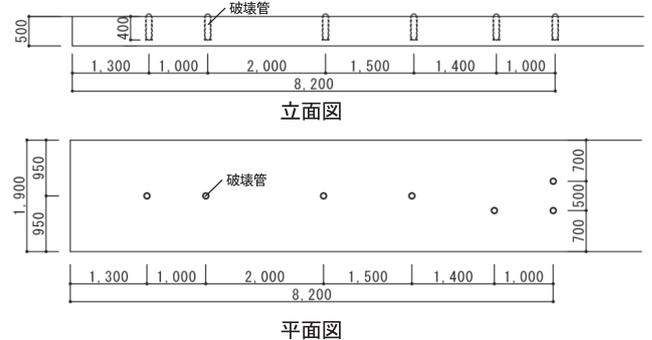
(3) 鉄筋コンクリート柱の破壊実験

鉄筋コンクリート柱部材を破壊できることを確認するために、500 mm 角、高さ 2300 mm の柱の凍結破壊実験を 2 体実施した。図一八に試験体図を示す。柱主筋は 4-D16 (SD295)、帯筋は D10 (SD295@200 mm)、コンクリートの設計強度は 24 N/mm^2 である。破壊管の外管は $\phi 89.1\text{ mm} \times t4.2\text{ mm}$ (SGP)、冷却管は $\phi 21.7\text{ mm} \times t2.8\text{ mm}$ (SGP) を用いた。破壊管は側面に 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成した。写真一三に柱破壊状況を示す。破壊管

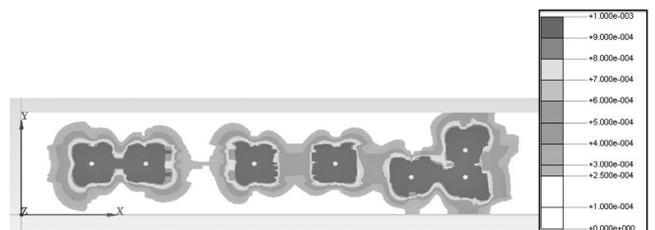


破壊管側面配置 破壊管上面配置

写真一三 柱破壊状況



図一九 試験体図



図一十 シミュレーション解析結果

を側面に配置した試験体は、破壊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、柱を割り裂くようにひび割れが縦方向に発生した。破壊管を用いて、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。

(4) 地中梁破壊検証実験

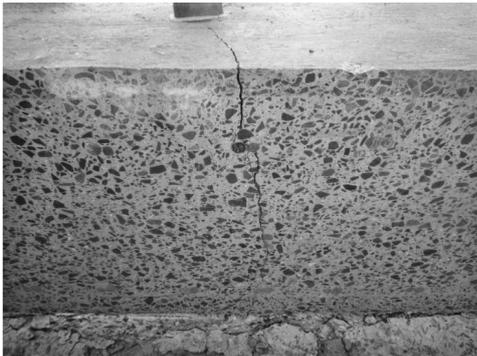
鉄筋コンクリートの地中梁を破壊できることを確認するとともに、鋼管間隔を確認するために、地中梁の破壊実験を実施した。図一九に試験体図を示す。コンクリートの設計強度は 21 N/mm^2 である。配筋は短辺方向が D10@200 ダブル (SD295A)、長辺方向は、D16@200 ダブルである。破壊管の間隔は、500 mm, 1000 mm, 1400 mm, 1500 mm, 2000 mm とし、埋



写真一4 地中梁破壊状況



写真一6 ブロック化の状況



写真一5 切断断面

め込み深さは、400 mm とした。図一10 に破壊シミュレーション解析結果を示す。破壊鋼管の間に応力が集中していることがわかる。写真一4 に破壊状況を示す。全ての破壊管の間にひび割れが発生した。鋼管間隔を 2000 mm 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、ひび割れ深さを確認した。写真一5 に試験体断面を示す。ひび割れは、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壊し、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。写真一6 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。今後、凍結破壊管の改良を行い、ひび割れ方向性誘導を検討していく予定である。

4. おわりに

本技術の原理および破壊実験について報告した。破壊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。ブロック解体するために、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。

JCMMA

【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，pp.61-70，1985.8。

【筆者紹介】



三輪 明広 (みわ あきひろ)
戸田建設(株)
技術研究所



小椋 浩 (おぐら ひろし)
(株)精研
凍結本部技術設計部



植木 和幸 (うえき かずゆき)
(株)精研
凍結本部営業部