

小規模地下構造物の地震対策等の補助工法 ～簡易な凍結工法の開発～

小西 康彦¹・庄野 貴英²・伊豆田 久雄³・谷 浩明⁴

¹正会員 (株) 日水コン 東京下水道本部 (〒163-1122 東京都新宿区西新宿6-22-1)

E-mail:konisi_y@nissuicon.co.jp

² (株) 日水コン 東北下水道部 (〒980-0811 宮城県仙台市青葉区一番町4-7-17(小田急仙台ビル))

E-mail:syouno_t@nissuicon.co.jp

³ (株) 精研 凍結本部 技術設計部 (〒112-0002 東京都文京区小石川1-12-14)

E-mail:izuta@seikenn.co.jp

⁴ (株) 精研 凍結本部 技術設計部 (〒112-0002 東京都文京区小石川1-12-14)

E-mail:tani@seikenn.co.jp

既設小規模地下構造物の老朽化対策や地震対策に伴い、地下水位以下を部分的に開口する必要があるが生じる場合、これまでは地盤改良により地盤の崩壊を防止して対応する場合が多かった。しかしながら、地盤改良は地下水の汚染など環境に悪影響を与える場合があること、地盤によっては改良効果の信頼性に劣ること、及び施工規模によっては工事費がかかりすぎるという欠点があった。

そこで筆者らは、地震時の液状化に伴うマンホールの浮上を抑制する装置を開発する過程で、元の地盤にもどる環境にやさしい工法として「簡易な凍結工法」を開発し、実証実験を行いその効果を検証した。地盤凍結の理論的な考え方を示して、実証実験との相違点や工夫、問題点などを明らかにするとともに、この手法が初期の目的を十分に達成していることを実証実験により確認したので報告する。

Key Words :artificial ground freezing,earthquake,supporting method,superannuation,liquid nitrogen

1. はじめに

我が国の社会資本は、高度成長期の活発な投資によってほぼ欧米並みかそれ以上の水準にまで整備が進み、今後はほぼ同時に更新時期を迎える。特にライフラインとして重要な下水道施設は、最も後発に集中的な整備が進められてきており、現在の施設の長寿命化対策が課題となっている。

我が国の下水道普及率が向上していくに従って、地震による下水道施設への被害も増大の一途を辿っている。新潟地震で発生した1964年(昭和39年)当時は、下水道普及率が全国平均8%の時代であり下水道施設の被害が大きな問題となることは少なかった。しかし、1967年の十勝沖地震の時で普及率13%であったものが、1978年の宮城県沖地震の時で28%、1993年の釧路沖地震時には49%と徐々に下水道普及率の向上に伴い、地震による下水道の被害は大きくなり問題となってきた。

現代社会において、地震により下水道施設に被害が発生し、トイレの使用が不可能になると、いったいどうな

るだろうか？下水道普及率が71%に達した現在において、特に市街地に生活する者にとって、トイレが使用できない状況を想像すると、死活問題になりかねないことが容易に想像できる。実際に2004年の新潟県中越地震や2007年の能登半島地震、中越沖地震など近年の地震時においては、下水道施設に被害が発生してトイレの使用ができなくなり、急きょ仮設トイレを避難所に設置して対応したわけであるが、仮設トイレをいままで経験したことがない人にとってはなかなか用を足せない。特に衛生的な洋式トイレやウォシュレットに慣れた婦女子や高齢者にとっては仮設トイレの利用は不可能という人が多く、結果として水分の摂取を制限することとなり、肺塞栓症(エコノミー症候群)を発病する例がインターネット等で多数報告されており、死亡に至る場合もある。このように、社会生活が高度に進歩した現代社会においてライフラインとしての下水道施設の重要性は益々高くなっている。

一方で、日本の下水道の歴史をひも解いてみると、本

格的な下水道が日本で最初に建設されたのは明治 17 年の東京の神田下水といわれており、建設から既に 100 年以上が経過している。これまでに下水道で採用された管材は、コンクリート管、塩ビ管、陶管で全管種の 95% 以上を占め、その標準耐用年数は 50 年であるが、戦前に布設された約 2,000km は既に 63 年以上経過しており、標準耐用年数を超えていて老朽化に伴う道路陥没等の危険性が非常に大きくなっている。下水道管路の老朽化に起因する道路陥没が、平成 18 年度には全国で約 4,400 箇所も発生¹⁾しており、年々増加傾向にあることが管きよの老朽化の現状を伝えている。今後、高度成長期に布設された大量の管きよが耐用年数を超えて改築・更新時期を迎えることが予想されている。このような管きよの老朽化の現状において、一旦大地震が発生すると、下水道施設への被害は老朽化した管路から発生することは容易に想像できる。そのため、早急に耐震化を考慮した老朽化対策が必要とされている。

そこで筆者らは、下水道マンホールの地震対策としてマンホール浮上抑制機能と管口部の破損防止機能の両方を併せ持つ装置を開発し、これを既設マンホールに設置する方法として、簡易な凍結工法を補助的に併用することにより施工方法を確立することができた。本工法は、比較的小規模の地下構造物の壁面を開口する場合に、背面地盤を短時間に凍結させることによって止水、地山の崩壊防止が可能となる方法である。

本論は、簡易な凍結工法の開発経緯を述べるとともに、実験で得られた各温度と地盤凍結の熱計算による計算値を基に考察し、合わせて低温状態における構造体（塩ビ材料）の性状の変化について検証した結果を報告する。

2. 簡易な凍結工法の開発の経緯

現在、小規模構造物への地震対策として数多く工法が開発されている。その多くが構造物に開発した装置を設置するものであり、装置設置時における開口部からの地山の崩壊、浸入水防止対策として地盤改良が必要となる。しかしながら、一般的な地盤改良では、装置設置後に構造物周辺地盤の透水性が損なわれて装置の機能が十分に果たせない場合もある。そこで装置設置後はもとの地盤性状に戻る「簡易な凍結工法」を開発した。

構造物の地震対策工法を普及し拡充するためには、低コストで、近隣住民に対し生活障害を与えない凍結工法を考える必要がある。とりわけ、地上施工に伴う騒音・振動や交通量の多い時間帯の道路規制を極力抑えることが必要である。

従来の凍結工法では、凍結管を地上から埋設し、大型

冷凍機による $-25^{\circ}\text{C}\sim-30^{\circ}\text{C}$ の塩化カルシウム水溶液を循環させるブライン方式が一般的に用いられている。しかし、この方式では準備時間が長い、長期間の道路規制を伴う、凍土造成に多大な時間を要してしまう等の問題があったため、これまで大規模工事を対象として採用されてきた。

そこで、これらの問題を解決するために従来の凍結工法に変わって、液体窒素（ -196°C ）を用いた簡易な凍結工法を考案した。簡易な凍結工法は、液体窒素を貼付凍結管に供給する貼付凍結管方式と、液体窒素で冷却した空気をマンホール内に循環させる空気冷却方式の 2 方式に分けられる。

貼付凍結管方式は、凍結速度が速く凍土の温度も低いいため、局所的に熱の発生が伴う作業に対して凍土を維持させることが出来る。一方、空気冷却方式は、凍結管の設置・撤去などの作業時間を短縮できるので、一次的に止水を確保するような作業スピードが要求される工事に向いている。

今回の実験では、コアリングにより切削部から熱が発生し、施工中凍土を維持させる必要があるため、貼付凍結管方式を用いて実験を行なった。なお、空気冷却方式はまだ開発段階であり、今後、実験を行い確立する予定である。

3. 簡易凍結の実験

(1) 実験目的

我が国における液体窒素を使用した凍結工法の事例は、過去 10 件程度あるが、全てが大規模工事であり、小規模構造物を対象とした凍結事例はない。

本実験は、液体窒素を使った小規模構造物の開口時の崩壊防止として、地震対策工法の 1 つであるマンホール浮上抑制装置の設置に伴う凍土造成を実験にて検証し、必要な凍土厚みや凍結に要する時間等を確認することを目的とする。さらに、温度計測データから適切な熱計算で使用する数値を検証する。

具体的には、以下の項目に着目して実験を行う。

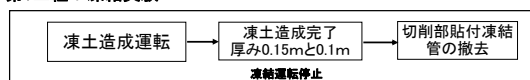
- ①熱計算で使用する数値の検証と想定、熱計算と実験データとの比較検討
- ②液体窒素供給時の、貼付凍結管での各位置の温度差の把握
- ③マンホール浮上抑制工法の一連の作業による凍土への影響と、造成すべき凍土厚みの想定

(2) 実験内容

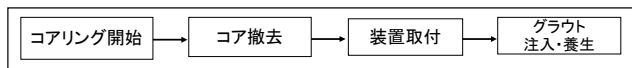
実験は、図-3.1 のフローに示すように、マンホール

浮上抑制工法の第1工程（凍結実験）から第3工程（確認実験）で構成される。本実験では、上流側に 150mm、下流側には 100mm の厚みの違う凍土を造成し、作業による凍土への影響の差を温度計測で測定し検証する。

第1工程：凍結実験



第2工程：装置取付実験



第3工程：確認実験



図-3.1 実験フロー

本実験を行うに当たり、凍土造成時間と液体窒素使用量を事前に把握する必要があるため、本実験と同じ貼付凍結管を使用した事前実験を行なった。その結果、図-3.2 が得られ、貼付凍結管裏の温度 $\theta_b = -120^\circ\text{C}$ （平均）、マンホール内表面温度 $\theta_i = -95^\circ\text{C}$ であった。

また、間詰め材を介した熱貫入率は、熱計算を用いて幾通りの数値を替えて計算した結果 116W/mK であった。

これらを後述の熱計算の境界条件とした。

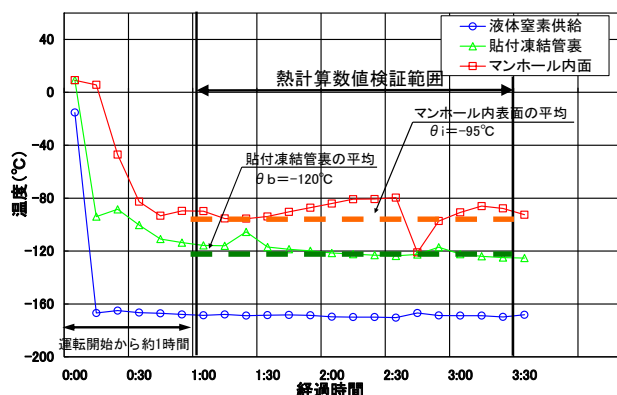


図-3.2 液体窒素供給温度とマンホール内表面温度

上記の境界条件から、タンク内の地盤温度が 10°C 、容積含水率 $P=0.5\text{m}^3/\text{m}^3$ 、塩分濃度 0%（凍結温度 0°C ）の熱計算から、上流側 11.5 時間（凍土厚み 150mm 目標）、下流側 7 時間（凍土厚み 100mm 目標）で凍土を造成できると予測した。造成時間は初期負荷などを考慮し、コアリング開始の 12 時間前から凍結運転を行なった。

(3) 実験土槽の概要

実験土槽は、熱量の進入が実施工にできるだけ近く、また温度センサーが容易に設置できる事などを考慮して、図-3.3、3.4 に示すものを製作した。これは、 5m^3 ノジ

タンク内（平面寸法 $2.8\text{m} \times 1.5\text{m}$ 、深さ 1.5m ）に、1 号組立マンホール（内径 $\phi 900\text{mm}$ 、壁厚 75mm ）を設置し、マンホール周辺に温度センサーを設置しながら、飽和砂（容積含水比 $0.5\text{m}^3/\text{m}^3$ ）になるよう水と砂を交互に入れ、タンク上部まで充填したものである。

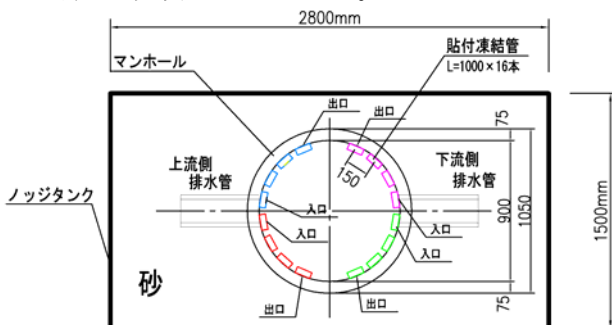


図-3.3 貼付凍結管配置（平面図）

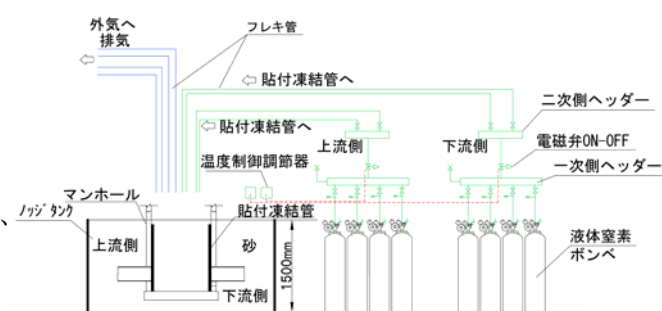


図-3.4 液体窒素供給設備のイメージ（断面図）

(4) 凍結方法

貼付凍結管方式は、図-3.3 に示すように貼付凍結管をマンホール内面にピッチ 150mm、上流側と下流側とあわせて 16 本設置し、貼付凍結管内に液体窒素を供給し凍土を造成するものである。

貼付凍結管は、液体窒素からマンホール壁面に効率よく熱伝導されるように改良を加え、材質は低温脆性の影響が少ないステンレス材(SUS304)を使用した。角パイプ $40\text{mm} \times 100\text{mm}$ 、管長 1000mm に加工した凍結管 4 本をフレキシブル管を用いて 1 系統にし、上下流側 2 系統とした。

液体窒素は、操作や入手が比較的容易なポンペを使用し、凍結運転中にポンペ交換による供給を止めない図-3.4 ような配管構造とした。

(5) 温度計測方法

実験時の計測項目としては、各点の温度と液体窒素供給量及び経過時間とした。この中で温度計測の温度計は、以下の目的（表-3.1）から図-3.5 のように設置した。

a) 凍結運転状況確認用

貼付凍結管裏の温度を測定することで、液体窒素供給温度や温度差の状態を求める。また、貼付凍結管間詰め材を介した熱貫入率とマンホール内表面温度の測定による冷却温度の確認を行なう。

b) 凍土成長確認用

凍結運転にともなう凍土厚みの増加を確認する。また、マンホール外表面温度を測定して凍土とコンクリートの凍着部温度を確認する。

c) コアリングなどの一連の作業による影響確認用

コアリングによる凍土およびマンホールの温度上昇及び解凍厚みを測定するとともに、グラウト材の養生温度を測定する。

表-3.1 溫度計配置目的

A)凍結運転状況確認用		
図面 記号	測定項目	測定目的
	貼付凍結管裏の温度	供給温度・温度差の状態・間詰め材を介した熱貫入率
	マンホール内表面温度	冷却温度

B)凍土成長確認用		
図面 記号	測定項目	測定目的
	凍土厚み	凍土厚み増加などによる温度変化
	マンホール外表面温度	凍土とコンクリートの凍着部温度

C)コアリングなどの一連の作業による影響確認用		
図面 記号	測定項目	測定目的
	凍土への影響	コアリングによる凍土の温度上昇及び解凍厚み
	コアリング近傍の温度	グラウト材の養生温度

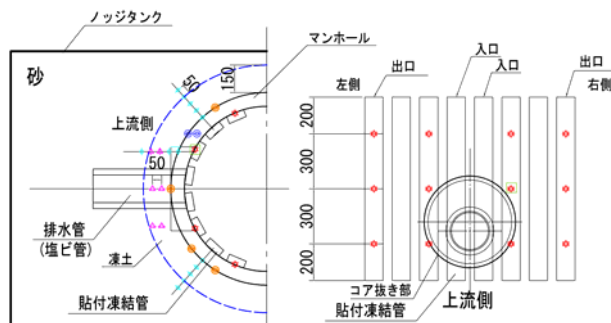


図-3.5 温度計配置図(左:平面図, 右:側面展開図)

(6) 実験結果

実験では、上下流側とも計画通りに最終工程まで行なうことができ、構造物・取付け設備にひび割れや漏水といった不具合も見られなかった。加えて、一連の作業の中でいくつかの改善点はあるものの、凍結管の配置及び形状の変更は必要ないことがわかった。

実験での凍土造成時間は、上流側で約 12 時間を要し、地中に設置した温度経時は図-3.6 のような結果になり、各測温点とも順調に降下した。凍結運転停止時の凍土厚みは、上流側 150mm 程度（下流側 100mm 程度）であった。

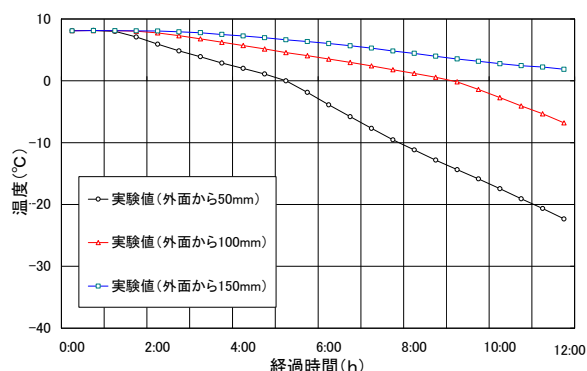


図-3.6 上流側地中温度グラフ

実験で凍結時間が長い上流側系統の貼付凍結管裏に設置した温度計の経時変化を示す。(図-3.7、図-3.8)

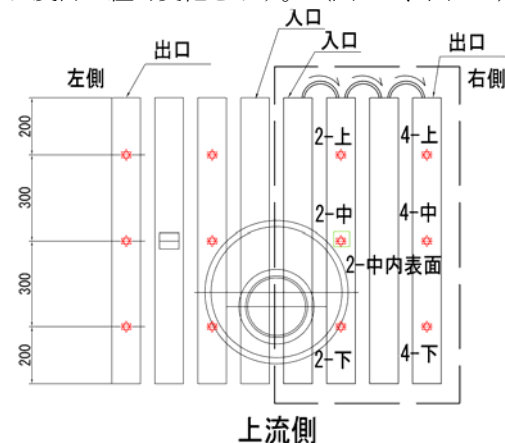


図-3.7 温度計配置図(貼付凍結管裏)

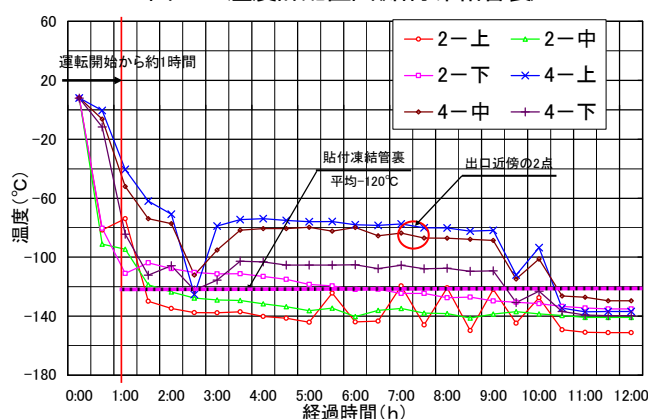


図-3.8 温度設置位置別の温度変化(貼付凍結管裏)

各位置での凍結管裏の温度を見比べてみると、出口に近い4本目の上部、中部のみ逸脱した高い温度が計測されたものの、それ以外の各貼付凍結管裏の温度は平均約-120℃であり、温度計設置位置による温度差はおおよそ20℃前後でおさまっているのがわかる。このバラツキは液体窒素が液体・気体が混合体であるため温度は均一にならなかったためと考えられる。

次に凍結停止後の第2工程実験の凍土への影響を、上流側の開口近傍の凍土位置に設置した温度計(図-3.9)か

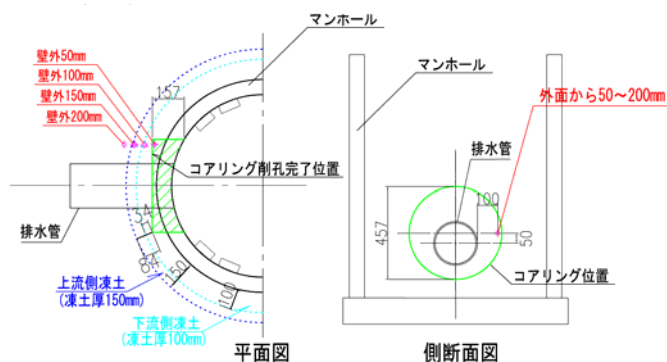


図-3.9 開口面近傍温度計位置

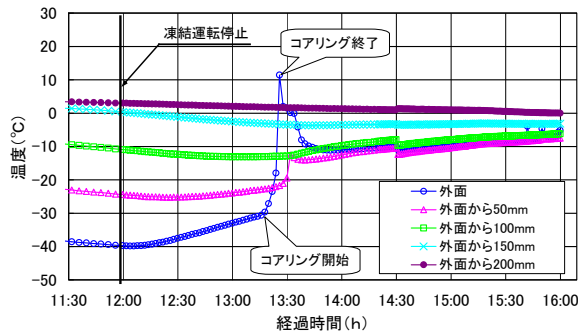


図-3.10 開口面近傍の温度データ(上流側)

図-3.10 から、コアリングによる削孔範囲内の測温点（外面と、外面から 50mm）では急激な温度上昇が見られたが、凍土が耐力壁となる部分の測温点（外面から 100 mm, 150mm）では温度上昇は見られず、コアリングや作業からの凍土への影響は少なかった。さらにコンクリート壁の温度が低温状態であったため、コアリングによる解凍を補うように凍土厚みが増加する期間もあった。

また、凍結運転停止直後の凍土平均温度は約 -20°C であり、時間とともに温度上昇が見られたものの、第2工程完了時で上下流とも凍土平均温度は -4°C であり、運転停止直後からは凍土厚みが若干成長した。

ここで、今回の実験での造成すべき凍土厚みを検証すると以下の通りである。耐力壁として計算上必要な凍土厚は、凍土平均温度 -4°C で 30mm であり、コアリング及び装置設置から凍土の整形作業により残る凍土厚みは、上流側 84mm、下流側 34mm である。凍結運転停止後の凍土厚みの増加を考慮にいれると、本実験における造成凍土厚みとしては 100mm で充分であったと考えられる。

4. 地盤凍結熱計算法による検証

(1) 熱計算法の概要

地盤が均一で初期温度 θ_{∞} が一定であり、冷却管表面温度を θ_c に保つとすると、温度変化の計算における一般的な非定常熱伝導の基礎微分方程式は式(4.1)²⁾で示され、その一次元モデルを図-4.1に示す。

基礎微分方程式

$$\frac{\partial \theta_i}{\partial t} = \kappa_i \left(\frac{\partial^2 \theta_i}{\partial x^2} \right) \quad (4.1)$$

ここで、

θ : 温度 ($^{\circ}\text{C}$)

i : 1は凍土、2は未凍土、Cはコンクリート

t : 時間

κ : 温度伝播率 ($= \lambda / C \rho$) (m^2/s)

λ : 熱伝導率 (kw/mK)

C : 比熱 ($\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$)

ρ : 密度 (kg/m^3)

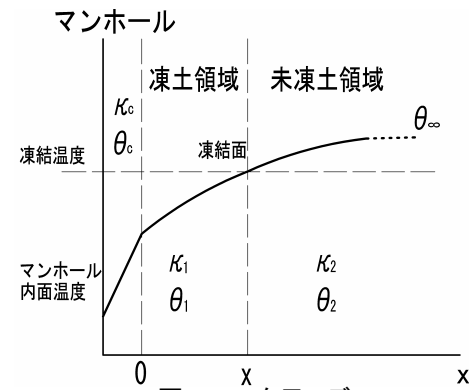


図-4.1 1次元モデル

式(4.1)から温度を計算するのは、本実験のような複雑な境界条件では困難である。そこで、シミュレーションの一つである差分法によって解を求め、実験データ及び数値の検証を行うこととした。

(2) 使用数値の導出

熱計算には、境界温度や既知以外の各種熱物性値が必要である。(図-4.2)

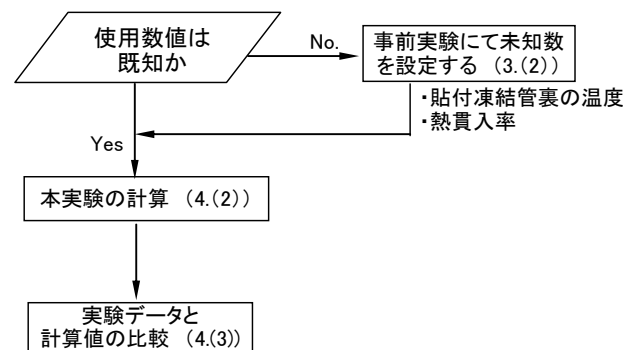


図-4.2 熱計算フロー

本実験の計算を行なう前に、境界温度である貼付凍結管裏温度と、温度データと計算値の比較により熱貫入率 $K=116\text{W/mK}$ を導出した。(3.(2)参照)

(3) 熱計算と実験との比較

上流側において、事前実験から想定した数値及び貼付凍結管裏の温度を用い、以下の条件で熱計算を行い各点の地盤温度及び凍土厚みを計算した。

- ① 初期地中温度 9°C
- ② 容積含水率 $0.5\text{m}^3/\text{m}^3$
(土全体に対する水の容積比)
- ③ 外気温度 $6\sim 20^{\circ}\text{C}$
(表面熱伝達率 $h=11\text{W/mK}$)
- ④ マンホール内温度 $-80\sim 6^{\circ}\text{C}$
- ⑤ 貼付凍結管裏温度 -120°C
(凍結管からの熱貫入率 $K=116\text{ W/mK}$)

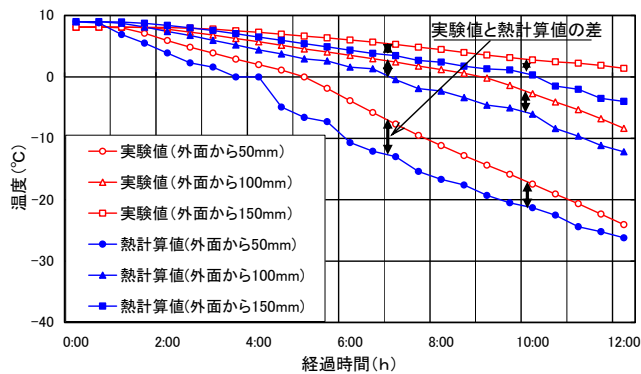


図-4.3 実験データと計算値との比較(上流側)

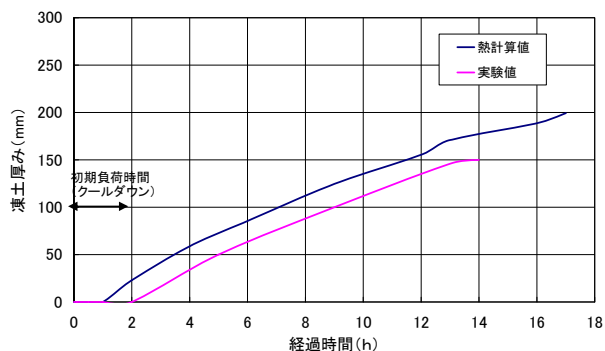


図-4.4 凍土厚みと経過時間の関係(凍土成長曲線)

図-4.3 により地盤の測温点における熱計算値と実験データを比較してみると、約 2～8℃の温度差がついている。両方の温度降下勾配はほぼ合っているため、各温度差のまま平行移動しているような結果となった。また、図-4.4 の凍土成長曲線でも同様な傾向が見られ、いずれも熱計算の方が実験に比べ凍土厚みが大きい結果であった。

熱計算では、凍結開始時点から-120℃の液体窒素を貼付凍結管へ供給する条件であったが、実際は配管や貼付凍結管等を-120℃まで冷却する初期負荷時間（クールダウンと称する）が必要である。その結果、実験時の温度が計算結果の温度になるのに、約 2 時間遅れたものと思われる。施工時期や設備等が違うと、クールダウンが多少異なることも考えられるが、凍土造成時間としては熱計算で算出した凍土造成時間にクールダウンの 2 時間程度を見込むのが妥当と考えられた。

以上から、既知の定数や事前実験から想定した使用数値を用いた計算結果により、実験結果を説明することができた。よって、今後は、初期温度差を考慮したクールダウンを用いれば、熱計算から各初期条件下での凍土造成に要する時間が算出できると考えられる。

5. 低温状態における部材の性能試験

(1) 試験の目的

小規模地下構造物としては、コンクリート製品と塩化ビニル製品が多く使用されている。そのうち、コンクリートの低温状態における性能については、問題がないことが既に確認されている³⁾。

ここでは、下水道管として主に使用されている硬質塩化ビニル管（以下 塩ビ管）の低温状態における性能について偏平試験を実施した結果を示す。

(2) 試験内容

塩ビ管性状の低温状態における影響についての研究はほとんど行われていないため、低温状態で偏平試験を行い性能を検証した。試験方法は、表-5.1 に示す条件(温度 20～-30℃、管径 φ200mm)で、下水道用硬質塩化ビニル管の規格書に示されている試験方法⁴⁾ に準じて試験を行った。試験状況を写真-5.1 に示す。なお、試験の合否基準として、偏平強さの許容値は圧縮量 11mm、線荷重は 4.28kN/m⁴⁾ とした。

表-5.1 試験条件

試験条件	試験時温度※1	試験個数※2	低温履歴
①	+20℃	× 5	—
②	0℃	× 5	—
③	-10℃	× 5	—
④	-20℃	× 5	—
⑤	-30℃	× 5	—
⑥	+20℃	× 5	1
合計 25個			

※1 試験時温度は±2℃を許容範囲とする

※2 試験データは、最大・最小を除く3個の平均とする。



写真-5.1 偏平試験の状況

(3) 試験結果

試験結果は図-5.1 に示す通り、全ての温度条件において許容値を満足することが明らかとなり、低温状態においても偏平強さに低下はなく、凍土造成完了時の平均凍土温度である-20℃でも性能に問題はないことが実証された。

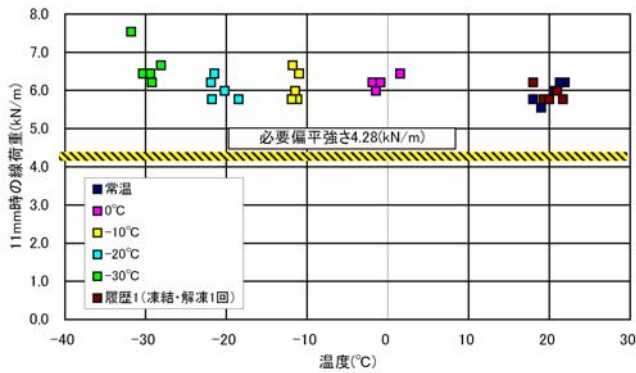


図-5.1 塩ビ管の線荷重と温度の関係

図-5.1 は写真-5.1 に示すような上下から線荷重を載荷して塩ビ管が 11mm 偏平した時の線荷重の大きさを示したものであるが、温度が低いほど線荷重は大きくなる傾向を示す。これは低温状態になるに従って材料が硬くなることを示しており、凍結・解凍(履歴)を繰り返した部材であっても偏平性能に低下はなかった。

図-5.2 は、偏平した部材が低温状態でも常温時と同じようにもとに戻るかを確認したものであるが、これによると低温状態でも常温時と同じように弾性力があることがわかる。

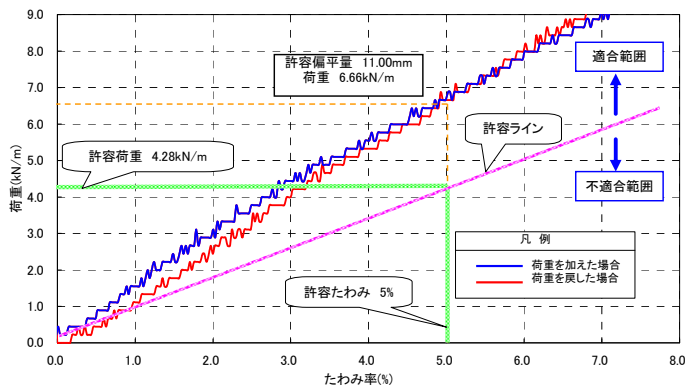


図-5.2 偏平試験 (-30°C)

6. 今後の適応範囲

簡易な凍結工法は、一般に使用されている地盤改良工法のように道路上から注入管を埋設せず、固化材を地中に注入しないため、大きな交通規制を行うことなく、構造物内部から地盤を凍結し地山崩壊、浸入水を防止することが可能な地球環境に最も優しい補助工法である。

また、実験結果からトンネル工事などで摘要されている従来の凍結工法より施工機械が小さく、短時間で凍結を行えるため、コストの低減が可能である。

簡易な凍結工法は、以下に示す施工の補助工法として今後適応が可能と考えられる。

- ① 地震対策として既設マンホール浮上抑制装置を設置する工事(図-6.1参照)

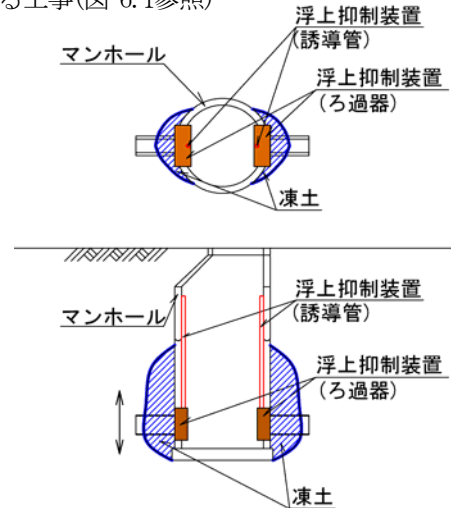


図-6.1 マンホール浮上抑制装置設置図

- ② 地震対策として既設マンホールと管の接続部において可とう装置を設置する工事(図-6.2参照)

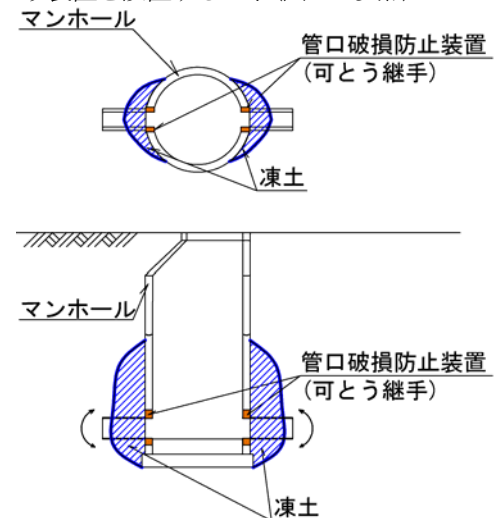


図-6.2 マンホール管口破損防止装置設置図

- ③ 老朽化対策として既設マンホールのひび割れ箇所からの浸入水を防止する工事(図-6.3参照)

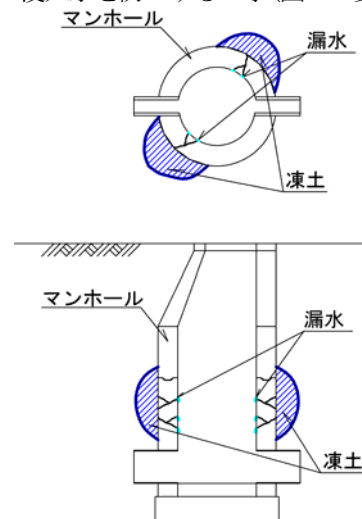


図-6.3 マンホール止水図

- ④ 小口径管推進工法の発進・到達立坑において鏡切りする工事(図-6.4参照)

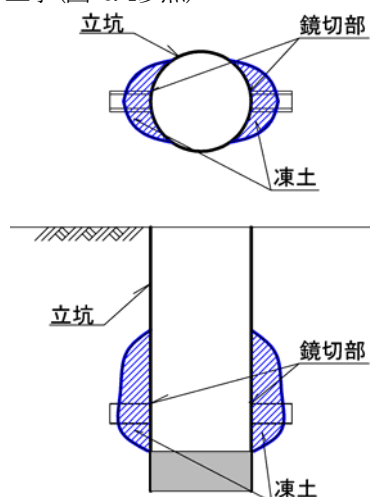


図-6.4 立坑鏡切り図

7. まとめ

今回開発した簡易な凍結工法は、高価で時間がかかるなどこれまでの大規模工事において採用されてきた凍結工法のイメージを変えるものである。浅く小規模な地盤を短時間に凍結して、短時間で地震対策、老朽化対策などの工事を行い、結果として工事費を安価にするものとなる。

本実験から確認出来た項目を以下に示す。

- ① マンホール浮上抑制装置(開口径φ457mm)設置において作業時の解凍を考慮しても、地山の崩壊、浸入水を防止するために必要な凍土厚みは100mmであった。
- ② 本実験条件の外気温 6~20℃、地中温度 9℃、飽和砂の容積含水率 0.5m³/m³、冷却温度-120℃、凍結管からの熱貫入率 116W/mK の熱計算においては、この 100mm の凍土造成時間は約 7 時間であった。
- ③ 実測値と熱計算値との差は約 20℃であり、この温度差は配管や貼付凍結管等を冷却するまでの時間(2 時間)であると想定された。今後はこの時間を考慮すれば熱計算から様々な条件下での

凍土造成に要する時間を算出できることが実証できた。

- ④ 液体窒素は、液体と気体の混合状態で供給されるため冷媒の不均一な分配が懸念されたが、凍結管の加工等により各測温点の差は約 20℃程度であり、ほぼ均等に分配することに成功した。
- ⑤ 塩ビ管は、低温状態になるに従って硬くなるが、弾性力は常温の場合と変わらず、凍結・解凍を繰り返した部材においても扁平性能に問題がないことがわかった。

本実験によって簡易な凍結工法をほぼ確立することが出来た。今後行なうこととしては、液体窒素を扱うため安全性を考慮した施工マニュアルの作成、さらなるコスト低減を目指した液体窒素供給方法の改良、空気冷却方式による簡易な凍結方法の開発等を予定している。

今後、この工法が地震時対策、老朽化対策等の施工時に安全性を確保できる補助工法として、大きな役割をはたせるように今後も開発を進めていきたい。

謝辞

本文をまとめるに当たり、株式会社 精研の方々には実験や計算に御協力を頂き心より感謝致します。

参考文献

- 1) 国土交通省 都市・地域整備局 下水道部ホームページ、下水道施設の改築等。
- 2) 高志 勤・和田正八郎：土壤凍結工法について (I)、冷凍、vol. 36、No. 408、pp1-15、1961。
- 3) (社)土木学会：コンクリート標準仕様書 設計編 2007。
- 4) (社)日本下水道協会：下水道用硬質塩化ビニル管 JSWAS K-1 2002。

(2009.3.25 受付)

Supporting Method of Earthquake Countermeasures of Small-scale Underground Structure ～ Development of Simple Artificial Freezing Method ～

Yasuhiko KONISHI, Takahide SHONO, Hisao IZUTA, Hiroaki TANI

Existing small-scale underground structure needs to the superannuation and the earthquake countermeasures. At that time, partially coring of the wall below

the groundwater level requires the ground improvement. Up to now, it often corresponded having prevented the ground from collapsing by soil stabilization like the grouting etc. However, the soil stabilization has the faults the negatively affect the environment such as the pollution of underground water, inferiors to reliability in the effect of the improvement, and costs the construction expense too much.

We developed the simple artificial freezing method of an environment friendly method using the liquid nitrogen by the process of developing device, that controls uplifting of manhole according to liquidizing at earthquake. And we carried out the demonstration test and proved the effect. A concept on the calculation of the soil freeze was shown, and the difference point, the device, and the problem, etc. were clarified with the demonstration test. It was confirmed that this method achieved the early purpose by the demonstration test.