

VI-128

インシチュフォーム管渠更生工法における異形管の解析と設計法

九州大学工学部 正会員 彦坂 熙・丸山 義一

飯田建設株式会社 織田耕造・小関和幸・阿南公幸

1. 緒言

近年、道路下に埋設された下水管や河川堤防内を横断する樋管の老朽化がすすみ、補修、取替え工事が増加している。しかし、市街地では道路事情の悪化、地下埋設物の輻輳、騒音・振動による工事公害のため、道路を掘削して老朽管を新管に取り替えることが難しくなっている。インシチュフォーム (in-situ form) 工法は、道路を全く掘り返すことなく、老朽管の内部に熱硬化性樹脂による新管を短時間に施工する新しい工法である。施工前のインシチュフォームチューブ（以下、INS管と略す）は樹脂を含浸させた柔らかい繊維からなるバッグになっており、給水車から水を供給してそれを既設管内所定の位置まで反転挿入する。その後、ボイラーによりバッグ内の水を樹脂が硬化する約85℃に加熱すると、INS管が成形される。

土圧および活荷重は既設管が受け持つものと考え、INS管は外水圧だけを荷重として設計すればよい。下水管の断面は通常円形であり、様な水圧を受けるINS円形管には曲げモーメントが生じないので、座屈強度によりライナー厚が決められている。しかし、断面の大きい下水管や樋管には長方形や馬蹄形断面が用いられており、これらの既設管に適用されるINS管も円形以外の異形断面をもつ。このような異形管では曲げ変形が卓越して起こるため、ライナー厚は許容曲げ応力またはたわみ制限から決定される。INS異形管の断面はかなり大きくなるので、安全性、施工性、経済性を満足する合理的なライナー厚の設計法を確立する必要がある。これについて、本工法が建設省（九州地方建設局）の官産学による新技術開発を目的とした平成2年度パイロット事業に採択、実施された機会に検討した成果を報告する。

2. 高強度GFRPによるINSライナーの補強

円形以外の異形INS管を外水圧に対して設計するとき、INS管を単なるリングとして解析すると、許容曲げ応力またはたわみ制限から決定されるライナー厚が適用範囲（最大42mm）を越えることがある。そこで、INS管の一部に強度、剛性の高いGFRP (Glass Fiber Reinforced Plastic) マットを接着合成することにより、ライナー厚を小さくすることを試みた。図-1のように、INSライナー（弾性係数 E_1 、板厚 t_1 ）をGFRP（弾性係数 E_2 、板厚 t_2 ）で補強した断面を考える。

表-1 材料の物性値

材 料	項 目	単 位	測定値	規格値
INS	引張強度	kg/mm ²	3.1	2.0 以上
ライナー	弾性係数	kg/mm ²	348	224 以上
補強用	引張強度	kg/mm ²	10.8	
GFRP	弾性係数	kg/mm ²	747	

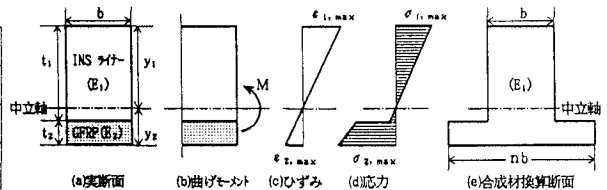


図-1 INSライナーと補強GFRPの合成材

弾性係数比を $n = E_2/E_1$ 、板厚比を $\mu = t_2/t_1$ とおけば、図-1を参照して、合成材の中立軸 y_1 および換算断面二次モーメント I が次式で与えられる。

$$y_1 = \frac{1 + n\mu(\mu + 2)}{2(1 + n\mu)} t_1 \quad (1)$$

$$I = \frac{bt_1^3}{12} \left(1 + n\mu^3 + \frac{3n\mu(1 + \mu)^2}{1 + n\mu} \right) \quad (2)$$

曲げモーメント M によるINSライナーの最大縁応力は、 $\sigma_{1,max} = M/W_1$ (W_1 は断面係数) で算定される。ここに

$$W_1 = \frac{I}{y_1} = \frac{bt_1^2}{6} \cdot \frac{(1 + n\mu)(1 + n\mu^3) + 3n\mu(1 + \mu)^2}{1 + n\mu(\mu + 2)} \quad (3)$$

実施例として、河川堤防を横断する既設の長方形断面石積樋管（内径 $1,400 \times 900$ mm）に図-2のカプセル形断面INS管（ライナー厚 $t_1=30$ mm）を採用し、側辺中央の直線部をGFRP（板厚 $t_2=8$ mm）で補強した。このように大断面、大ライナー厚のINS異形管の施工は、GFRPによる補強とともに、本邦初の試みである。各材料の物性値を表-1に示す。与えられた一様静水圧 $p=3.86$ t/m² を荷重として全断面の1/4を有限要素法で解き、INSライナーの内面、外面応力を無補強の場合と比較すれば、図-3の通りである。D点（節点20）に生じる補強前・後の最大たわみはそれぞれ81mm および 47mm となるが、次節に述べる既設管の拘束を考慮すれば、最大たわみは無補強でも10mm程度に減少する。

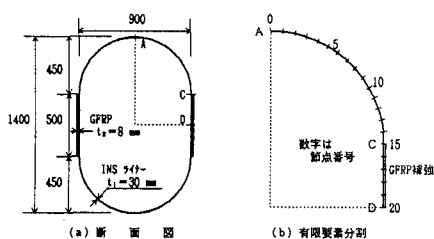
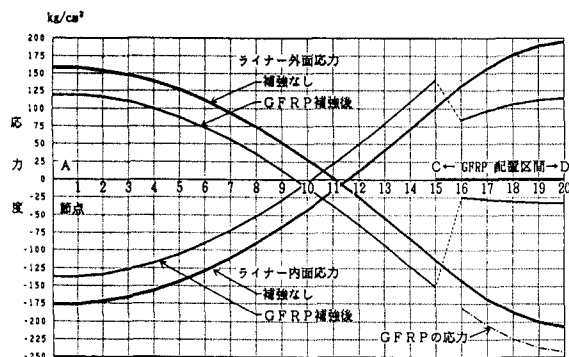


図-2 GFRPで補強したカプセル形断面INS管

図-3 カプセル形断面INS管の応力分布 ($t_1=30$ mm, $t_2=8$ mm)

3. 既設管の拘束効果を考慮したINS管の解析と設計

INS管は既設鉄筋コンクリート管の内部に施工され、既設管と異形INS管の間に生じる隙間はモルタル等によりグラウトされるので、施工完了後のINS管は外向き変位を拘束されている。この結果、拘束を無視した場合に比べてINS管の剛性が著しく高くなり、たわみと曲げモーメントが顕著に低減するので、ライナー厚の小さい経済的なINS管の設計が可能になる。水圧荷重下のINS管は既設管からの反力を受けるが、反力の生じる接触区間は解析前にはわからないため、繰り返し計算が必要になる。しかし、接触区間の長さは荷重の大きさによらず一定であり、反力の大きさは荷重に比例するので、拘束を考慮したINS管の挙動は水圧荷重に対して線形となる。

図-4の馬蹄形断面INS管（ライナー厚 $t=30$ mm）について、一様静水圧 $p=2.8$ t/m² に対し既設管による変位拘束を考慮した有限要素解析を行った。断面の底辺直線部を除く区間の変位は概ね拘束を受けて0に保たれ、節点30付近と節点43にそれぞれ負および正の最大曲げモーメントが生じる。ライナー内面、外面の応力分布を、拘束無視の結果とともに図-5に示す。底辺中点（節点43）に生じる最大応力は拘束無視のその60%以下になる。

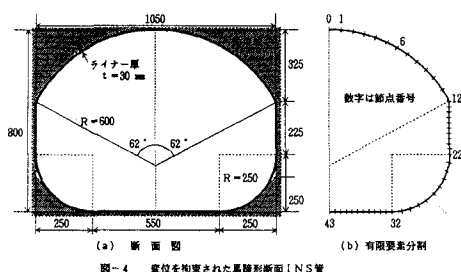
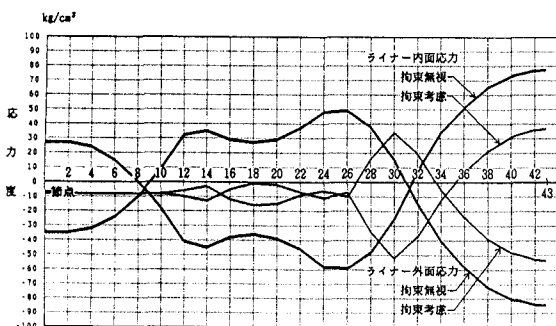


図-4 変位を拘束された馬蹄形断面INS管

図-5 馬蹄形断面INS管の応力分布 ($t=30$ mm)

4. 結 語

INS異形管の設計に関しては、引続き実用に供するための設計マニュアルをまとめる予定である。

本パイロット事業は建設省九州地方建設局延岡、川内川工事事務所において施工されたが、御指導を頂いた両工事事務所に深甚なる謝意を表する。