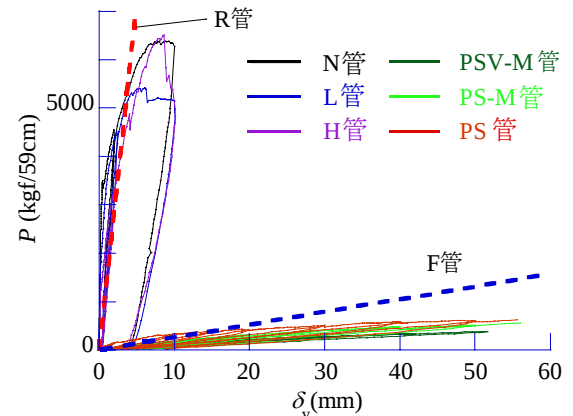
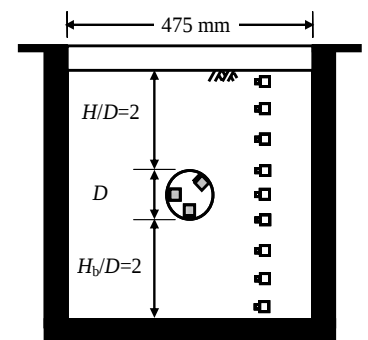


製管工法で更生された老朽下水道管の地震時安全性に関する動的遠心実験

大阪市建設局 大杉朗隆・中西啓輔 大阪市立大学 東田 淳・狭間智一
阿南工業高等専門学校 吉村 洋 中央復建コンサルタント ○井上裕司

まえがき 製管工法で更生された老朽下水道管の地震時安全性を動的遠心実験で調べ、既設管の劣化の影響について考察した。遠心実験に用いた模型管の剛性は、別報¹⁾に示した更生管の集中線荷重試験の結果に基づいて決めた。遠心実験の方法と結果および実験に対するFEM解析については、文献2)～6)を参照されたい。

模型管と更生管の曲げ剛性 実験に用いた2本の模型管(R管とF管)は、いずれも硬質アルミ製($E_p=740000 \text{ kgf/cm}^2$, $\nu_p=0.33$)で、外径 D は90mm、管厚 t は3.5mmと0.95mm、曲げ剛性 $S_p=E_p t^3 / \{12(1-\nu_p^2)R^3\}$ は 36.7 kgf/cm^2 と 0.67 kgf/cm^2 (R は管厚中心半径)、長さは148mmである。図-1の曲線は、別報¹⁾の集中線荷重試験で求めた更生管(N管・L管・H管)、および更生後に既設管が曲げ剛性を失うまで劣化した状態と対応するPSV-M管・PS-M管・PS管の P (管長59cm当りの線荷重)～ δ_v (管の鉛直たわみ量)の関係である。更生管は、内径300mmのコンクリート管を製管工法で更生したもので、N、L、Hはコンクリート管の損傷レベルを表す。また、図-1に破線で示した2本の直線はR管とF管の $P \sim \delta_v$ 関係である。R管の $P \sim \delta_v$ 直線の勾配はN管・L管・H管の初期勾配に、またF管の $P \sim \delta_v$ 直線の勾配はPSV-M管・PS-M管・PS管の初期勾配にほぼ等しい。したがってR管とF管の変形挙動は、図-1に示した更生管、および既設管が劣化した場合の更生管に対応する原型管の変形挙動とそれぞれ相似とみなせる。

図-1 更生管と模型管の $P \sim \delta_v$ 関係図-2 模型($H/D=2 \cdot H_b/D=2$)

動的遠心実験の方法と結果 実験は、2種類の模型地盤中に種々の埋設寸法で模型管を埋めて1/30縮小二次元模型(図-2)を作成し、模型を遠心加速度30G場において、原型換算で約0.8G、1Hzのsine波状の水平加速度を10波与え、模型管に働く垂直土圧 σ 、せん断土圧 τ 、曲げひずみ ϵ_M の分布、および地盤と管の加速度を測定した^{2)~4)}。加振2波目で測定されたR管とF管の $\sigma \cdot \tau \cdot \epsilon_M$ の分布を図-3に極座標で示す。 σ は圧縮、 τ は反時計回り、 ϵ_M は内面引張りを正として表してある。これらは、いずれもS16L(まさ土のゆる詰め)地盤に、模型管が図-2に示す寸法($H/D=2$, $H_b/D=2$)で埋設された場合のデータで、図の黒のプロットが30G場の加振前、青と赤のプロットが加振2波目のピーク時点のデータである。R管、F管とも、図-3に示した測定 ϵ_M の最大値は10ケース行った実験の中で最大であった。これらの最大 ϵ_M から模型管に生じる曲げモーメント M_m の最大値がそれぞれ $5.16 \text{ kgf} \cdot \text{cm/cm}$ 、 $2.80 \text{ kgf} \cdot \text{cm/cm}$ と求められた。

更生管の安全性の検討 その1(既設コンクリート管の劣化が無い場合) 更生直後で、既設コンクリート管の劣化がまだ進行していない場合の更生管(N管・L管・H管)の S_p 、ならびに実物のコンクリート管(新管)の S_p は、どちらも口径によらずR管の S_p に近い。よって、R管で得られた M_m の最大値と n を、相似則: $M_p = n^2 M_m$ に代入すれば、模型の n 倍の径の更生管・新管に生じる M_p の最大値($M_{\max}$)が得られる。

一方、製管工法で更生される管の必要耐力は、新管と同等以上と定められている。そこで、更生管の抵抗曲げモーメント M_r として、JSWAS A-1規格⁷⁾に規定されているRC2種管のひび割れと破壊に対する M_r を採用し、更生管の安全率 $F_s = M_r / M_{\max}$ を求めた。

キーワード: 老朽下水道管、更生、製管工法、地震時安全性、損傷レベル

連絡先: 大阪市住吉区杉本3-3-138、大阪市立大学工学部、TEL & FAX: 06-6605-2725

図-4に、更生を施したコンクリート管の内径 d と F_s の関係を示す。 F_s は管径の増大につれて低下するが、ひび割れに対して 1.2 以上、破壊に対して 1.9 以上となり、今回の実験条件の範囲では更生管は安全であると言える。**更生管の安全性の検討 その 2(既設管の劣化が終局まで進行した場合)**

更生後に既設管が経年劣化によって完全に曲げ剛性を失うと、PS 管のみが地中に残った状態となる。PS 管の S_p は、図-1 に示したように F 管と同程度である。そこで、F 管で得られた M_m の最大値を $M_p = n^2 M_m$ に代入すれば原型管に生じる $M_{\max}$ が求められる。ところが、実際の PS 管の S_p は、口径によって適用 PS 部材が異なるため、図-1 に示した PS 管、ひいては F 管の S_p とは異なり、1/25~1/3 程度と小さくなる。そのため、実際の PS 管の変形挙動も実験とは異なることになるが、ここでは試みに S_p の違いを無視して、口径によらず F 管に生じた M_m から求めた $M_{\max}$ が生じると仮定した。

実際の PS 管の耐荷力(降伏曲げモーメントと最大曲げモーメント)は、4 通りの PS 部材(#90S、#80S、#79S、#79SW)の 3 点曲げ試験の結果から求めた。これらの抵抗曲げモーメント M_r と $M_{\max}$ から算定した安全率 $F_s = M_r / M_{\max}$ と更生対象としたコンクリート管の内径 d の関係を図-5 に示す。図から、大半のケースで F_s が 1 を下まわっており、特に口径が大きくなるほど更生管はごく危険となることが分かる。ただし、上述のように、4 通りの PS 部材によって製管された PS 管の S_p は F 管の S_p よりも小さいので、実際の PS 管に生じる $M_{\max}$ は、F 管で得られた $M_{\max}$ よりも小さくなる。したがって、図-5 の結果から、既設管の劣化が進行した更生管に強地震動が作用する場合、更生管は危険であると直ちに断定することは正しくないが、実際に既設管が経年劣化した場合、製管工法で更生された管が地震時にどの程度の安全性を有するかは不明であり、この解明が解決すべき緊急、かつ重要な課題として残った。

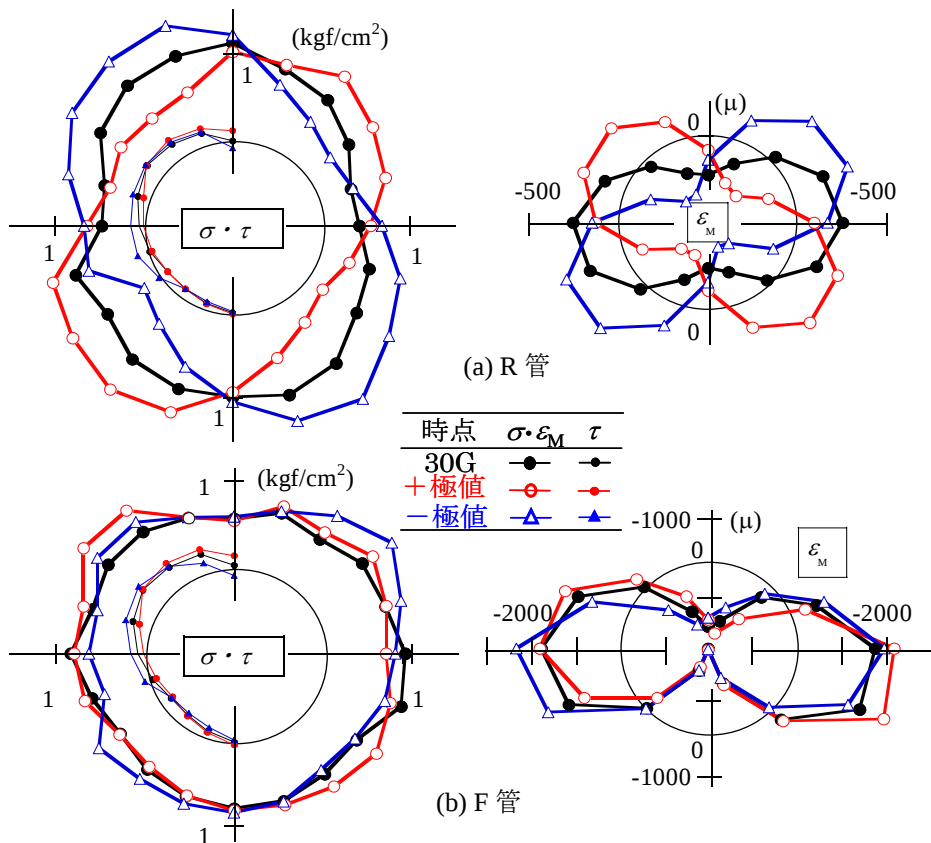


図-3 加振 2 波目で測定された R 管と F 管の $\sigma \cdot \tau \cdot \varepsilon_M$ の分布

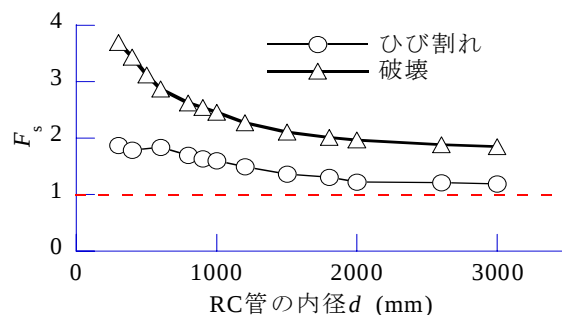


図-4 既設コンクリート管の内径 d と F_s の関係

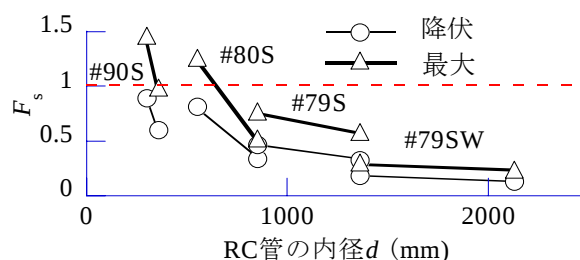


図-5 既設コンクリート管の劣化が進行した場合の更生管の F_s とコンクリート管の内径 d の関係

参考文献 1) 大杉他(2009): 製管工法で更生された老朽下水道管の集中線荷重載荷試験, 64 回土木学会年講(投稿中). 2) 井上他: 下水道幹線カルバートの動的遠心実験(実験方法). 3) 狭間他: 下水道幹線カルバートの動的遠心実験(円形管で剛性を変えた場合の実験結果). 4) 向市他: 下水道幹線カルバートの動的遠心実験(カルバート形状を変えた場合の実験結果). 5) 東田他: 下水道幹線カルバートの動的遠心実験に対する FEM 弾性解析(解析方法). 6) 吉村他: 下水道幹線カルバートの動的遠心実験に対する FEM 弾性解析(解析結果). 以上の 2)~6)は 44 回地盤工学研究発表会(2009, 投稿中). 7) 日本下水道協会(2001): 管更生の手引き(案).