

スーパーミニ・カーブ工法の開発

—小口径曲線推進工法—

三澤孝史* 畑山栄一* 石井敏之**
和田 洋*** 津坂 治**** 森田芳樹*****

1. まえがき

近年、立坑用地確保が困難である等の理由で、小口径の推進においても曲線推進が施工されるようになってきている。このような状況を受け、当社が昭和 60 年に開発し、既に 1800 件以上の実績がある小口径推進工法であるスーパーミニ工法（泥水二工程方式）の曲線対応版として、スーパーミニ・カーブ工法を開発した。

本報では、スーパーミニ・カーブ工法の概要および実規模の実証実験結果について報告する。

2. 工法の概要

最初に、スーパーミニ・カーブ工法の元となるスーパーミニ工法について簡単に紹介する。スーパーミニ工法は泥水二工程方式の小口径推進工法である。適応径は、

鉄筋コンクリート管呼び径で 250～500mm であり、広い土質に対応でき、高精度な長距離推進（線形は直線）を可能にしたものである。

スーパーミニ・カーブ工法は、曲線推進に対応できるように、スーパーミニ工法を発展・開発させたものである。工法の概要を図-1に示す。スーパーミニ・カーブ工法の適用範囲（開発目標）を以下に示す。

〔適用範囲〕

対象径：鉄筋コンクリート管呼び径 400～500mm

曲線半径：100m以上

土被り：5m程度

スーパーミニ・カーブ工法を構成する主要要素技術である掘進機、測量システムおよび仮管の可撓性継手の概要を以下に述べる。

2.1 掘進機

図-2、写真-1に500型スーパーミニ・カーブ機を

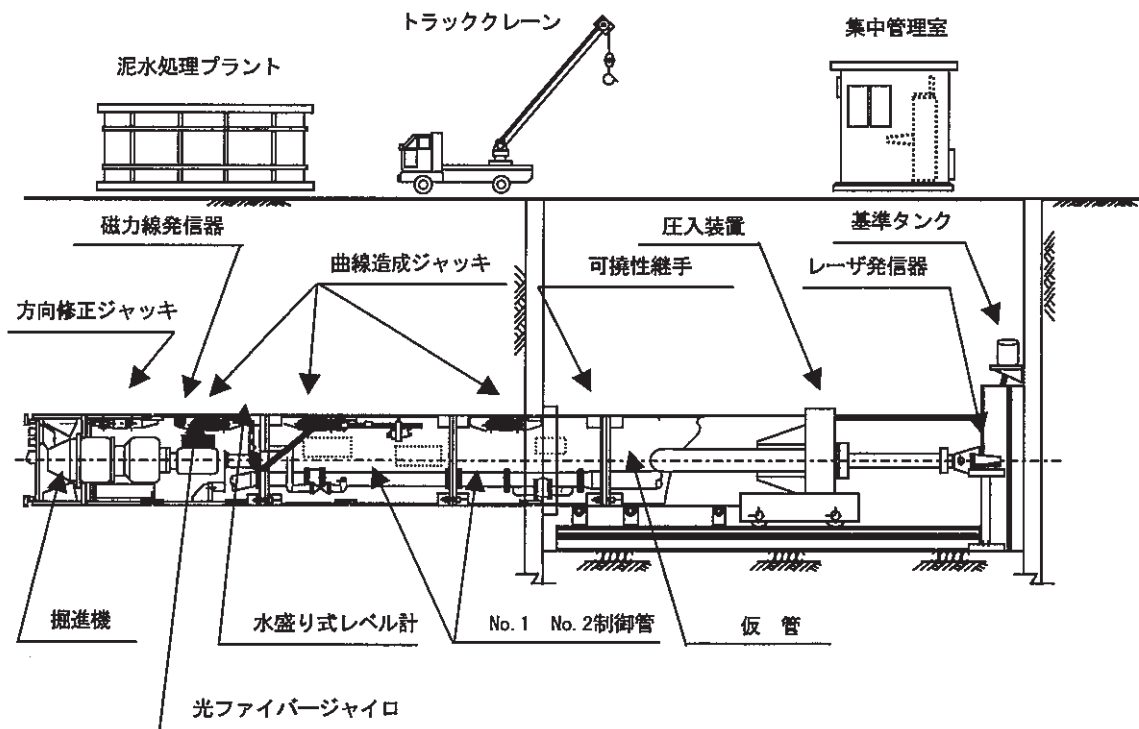


図-1 スーパーミニ・カーブ工法概要¹⁾

*機電研究室 **構造研究室 ***技術開発部 ****東京支社土木部 *****東京支社機械部

示す。表-1に主な仕様を示す。掘進機は、従来のスーパーミニ機と同じ方向修正ジャッキ3本に加え、曲線造成を容易にするために、制御管を含めて曲線造成ジャッキを3段装備している。掘進機（制御管含む）の屈曲性能としては、曲線半径30mまで屈曲可能である。



写真-1 スーパーミニ・カーブ機

2.2 測量システム

測量システムの概要を図-3に示す。

スーパーミニ工法では、線形が直線であるので発進立坑内にレーザーを設置し、掘進機にレーザー受光器を装備することにより線形管理を行っていた。しかし、曲線推進では、曲線部を通過すると、同様の方法では発進立坑からのレーザーによる測量ができない。

表-1 スーパーミニ・カーブ機の仕様

| | | |
|---------------|--|--|
| 形 式 | 500型スーパーミニ・カーブ機 | |
| シールド機寸法 | 外径 660mm×機長 2000mm | |
| 方向修正ジャッキ | 押 140 ^N (引 65 ^N)×15 st ×30 ^{MPa} ×3 本 | |
| No.1 曲線造成ジャッキ | 押 140 ^N (引 65 ^N)×15 st ×30 ^{MPa} ×2 本 | |
| No.2 曲線造成ジャッキ | 押 140 ^N (引 65 ^N)×15 st ×30 ^{MPa} ×2 本 | |
| No.3 曲線造成ジャッキ | 押 140 ^N (引 65 ^N)×15 st ×30 ^{MPa} ×2 本 | |
| カッタ | トルク | 21.5/17.9 ^{N・m} |
| | 回転数 | 3.4/4.1 ^{r.p.m} |
| | 電動機 | 7.5 ^{kw} ×4 ^p ×1 台 |
| 油圧ユニット | ポンプ | 0.31/0.37 ^{l/min} ×30 ^{MPa} ×1 台 |
| | 電動機 | 0.2 ^{kw} ×4 ^p ×200/220 ^v ×1 台 |
| 送排泥装置 | 送水 3 ^B 、排泥 3 ^B | |
| 電 源 | AC50/60 ^{Hz} 、3 ^φ 、200/220 ^v | |

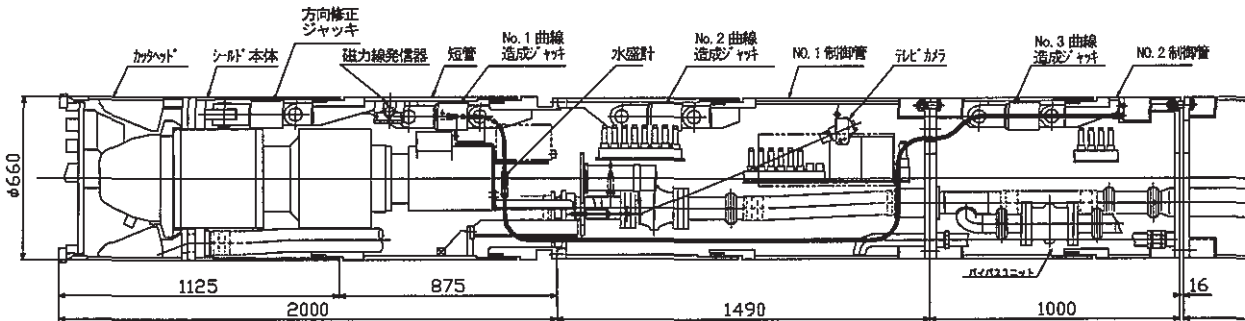


図-2 スーパーミニ・カーブ機

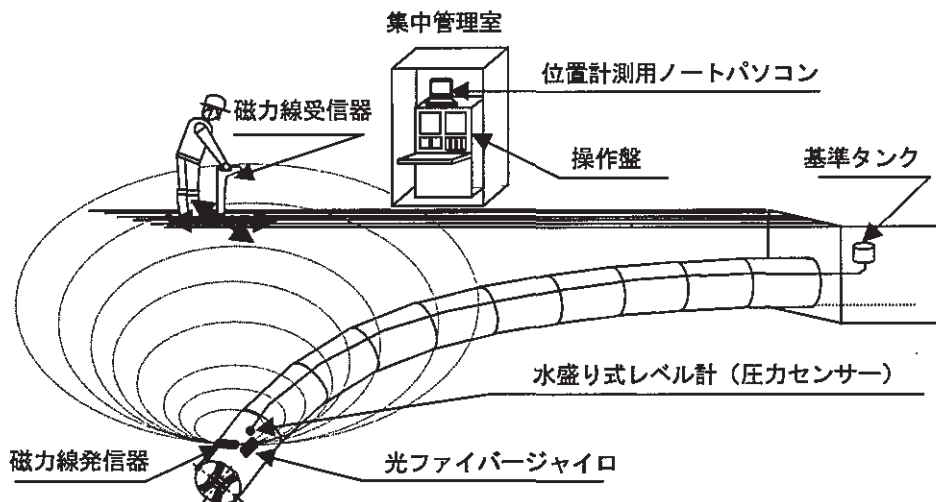


図-3 測量システム概念図

スーパーミニ・カーブ工法では掘進機に内蔵した新開発のコンパクトなジャイロ方位計測装置（光ファイバージャイロ、写真-2参照）と、磁力線位置検出装置の組み合わせにより水平位置を測量する。写真-3に機器の掘進機内の設置状況を示す。

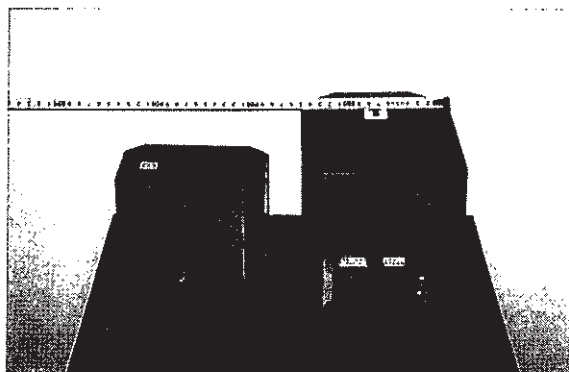


写真-2 ジャイロ方位計測装置

掘進時には、掘進機のジャイロ方位計測装置より出力される方位と元押しジャッキストロークとの演算により、リアルタイムに掘進機の位置および姿勢を把握し、オペレーターに掘進機の位置情報を伝達する。また、仮管押し切り時に、掘進機の先端部に取り付けたゾンデ（磁力線発信器）の磁力線を、地上からロケーター（磁力線受信器）で受信することにより掘進機の位置を補正する（写真-4参照）。

鉛直方向の位置計測は、実績のある水盛り式レベル計を用いる。

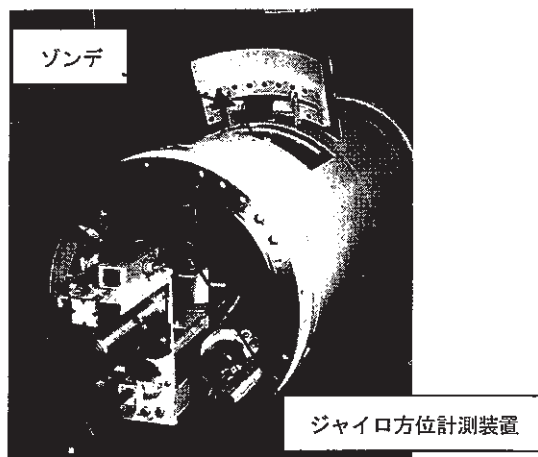
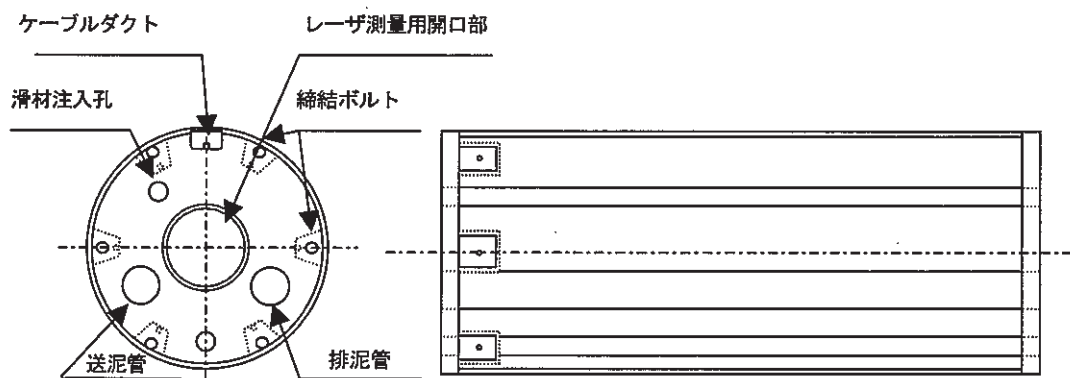


写真-3 ゾンデ及びジャイロ方位計測装置の掘進機内設置状況



写真-4 磁力線による位置測定状況



仮管仕様

| 型 式 | 400型 | 450型 | 500型 | |
|----------------|---------|-------|-------|-------|
| 鉄筋コンクリート管外径 | 526 | 584 | 640 | |
| 仮 管 | 外径 (mm) | 540 | 600 | 650 |
| | 長さ (mm) | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| 送 排 泥 管 径 (mm) | 80 | 100 | 100 | |

図-4 仮管構造

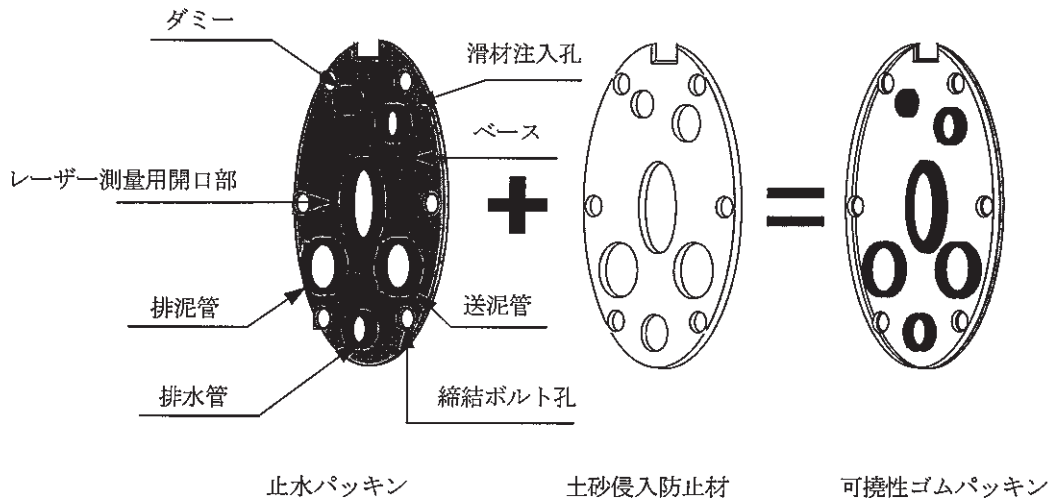


図-5 可撓性継手の構成

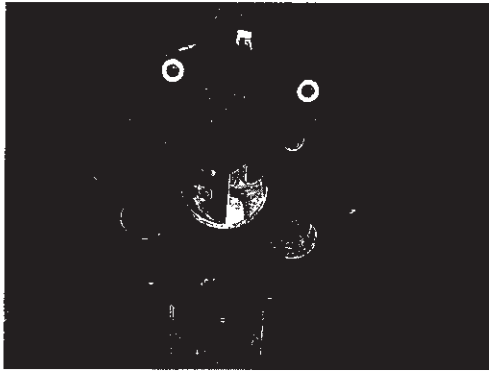


写真-5 可撓性ゴムパッキン



写真-6 可撓性ゴムパッキン止水実験状況

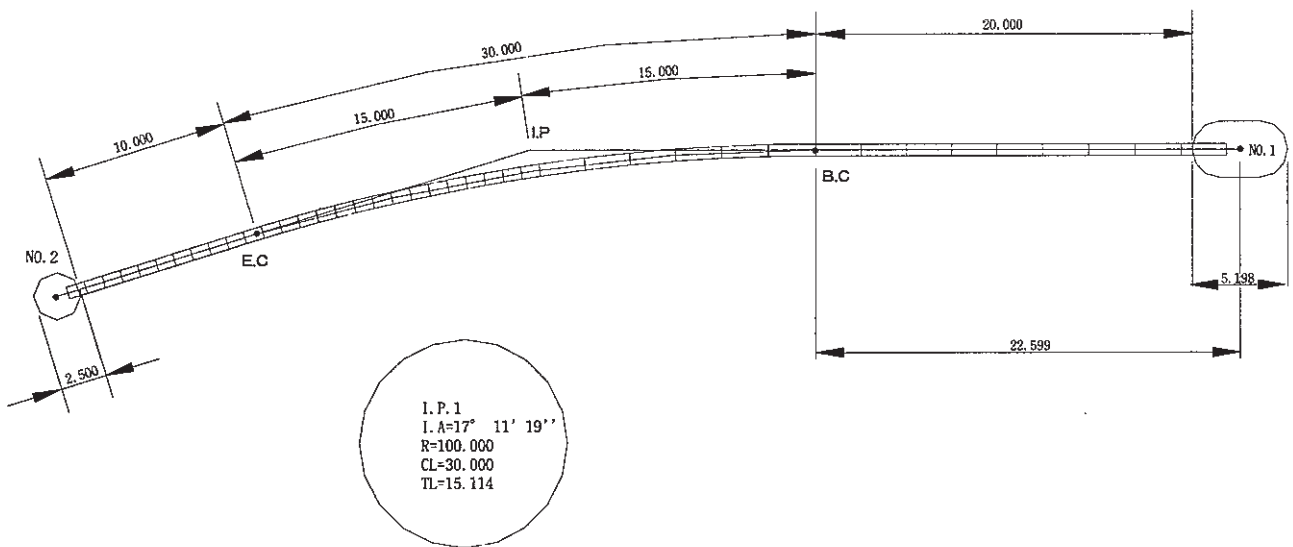


図-6 実証実験平面線形

2.3 可撓性継手

一工程目の仮管推進に用いる仮管形状および仕様を図-4に示す。曲線施工に対応するために仮管の継手部に可撓性継手を配置する。

仮管の可撓性継手としては、可撓性ゴムパッキン（写真-5参照）を用い、止水性および可撓性継手をもたせている。

ゴムパッキンは、仮管セット時にボルト締結によってプレストレス状態にすることにより止水性を確保するとともに、ボルトにより仮管の最大目開き量を調整する。また、ゴムパッキン外側の仮管継手面内に土砂が侵入しないように、土砂侵入防止材を配置している。可撓性継手の構成を図-5に示す。

可撓性ゴムパッキンについては、材質、形状をパラメーターとして要素試験を実施するとともに、実際の仮管を用いて、圧縮実験および目地開口量をパラメーターとした止水実験（写真-6参照）を実施し、必要性能を満足することを確認している。

3. 実証実験

3.1 実験の概要

実規模の実証実験によりスーパーミニ・カーブ工法の総合的な確認を行った。実験概要を以下に示す。

実験場所は、当社の技術研究所敷地内（茨城県つくば市）で行った。

実験は、仮管推進終了後、曲線部の半分程度まで鉄筋コンクリート管と置換した。使用した鉄筋コンクリート管は、曲線部はSR標準ヒューム管（L=2430mm、6本）、直線部は標準の鉄筋コンクリート管9本を使用した。

上述の鉄筋コンクリート管置換後、開削して管を確認できる状態に掘り出し、出来形線形、仮管継ぎ手部の状態（目開き等）および鉄筋コンクリート管の抜けだし量等を確認した。

〔実験概要〕

推進管：呼び径 500mm

推進線形：（図-6参照）

推進延長 60m

（直線部 20m+曲線部 30m+直線部 10m）

曲線半径 R100m

縦断勾配 0.5%（上り勾配）

土被り：平均 2.5m

3.2 実験結果

写真-7に曲線半径 100mの線形を示す。地表面は、磁力線位置検出装置による測量結果を路上にポイントし易いようにアスファルト合材を敷き均している。

写真-8に、操作状況を示す。

写真-9に到達状況を示す。到達立坑における計画



写真-7 曲線半径 100mの線形



写真-8 操作状況

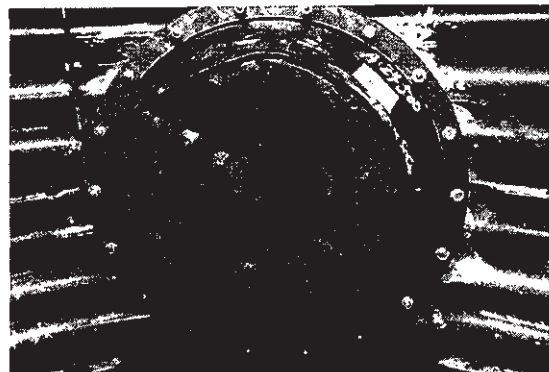


写真-9 到達状況



写真-10 開削による精度の確認

線形に対する施工精度は、水平：+21mm、鉛直：-19mmであった。

写真-10に、推進後に開削した状況を示す。

掘り出した仮管および鉄筋コンクリート管の水平面内の出来形線形を図-7に示す。また、図-8に、推進距離と計画線に対する変位を示す。図中には磁力線位置検出装置による結果およびジャイロによる位置算出結果を併記している。

なお、図中の“測量値”は、掘り出した管の位置をトータルステーションで測量した結果を示している。

“ゾンデ測定値”は、施工中に地上から測定した磁力線位置検出装置結果である。“ジャイロ”は、ジャイロの方位角変化量と元押しジャッキのストローク量から算出した結果である。

これより、目標である曲線半径 100mの線形を比較的精度良く造成していることがわかる。

図-8より、磁力線位置検出装置による測定結果は、

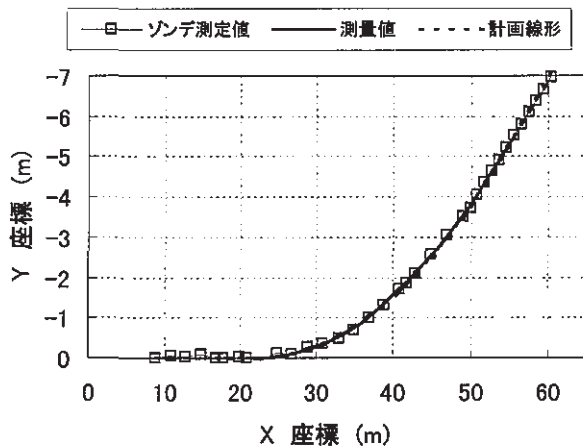


図-7 水平面内の出来高線形

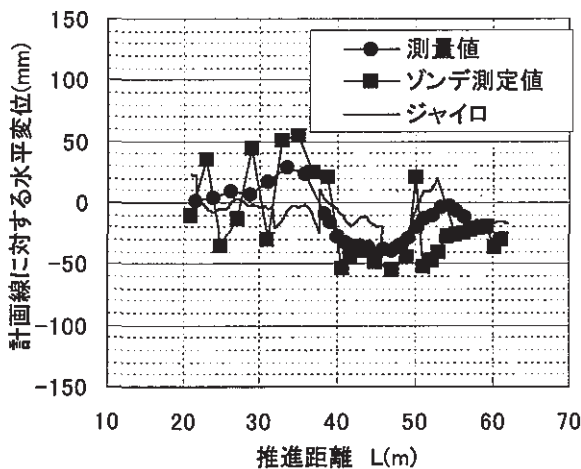


図-8 推進距離と計画線に対する水平変位の関係

トータルステーションによる測量結果と比較すると、±50mm 以内の精度で測定されていることがわかる。ジャイロによる位置算出は、曲線部推進中、磁力線位置検出装置による測定結果と大きな差が生じた時点で、磁力線位置検出装置による測定結果により補正を行った。ジャイロによる位置算出結果は、トータルステーションによる測量結果と比較して、±50mm 以内の精度で測定されていることがわかる。

4. あとがき

本工法は、平成9年度から平成11年度の3年間にわたり研究開発を進めてきた成果であり、工法の開発に当たっては奥村機械製作㈱の協力を受け進めた。

今後、現場への適用を進め、実施工の中で改良を進め工法の完成度を高めるとともに現場適用の拡大を図りたい。

スーパーミニ・カーブ工法は、現在、スーパーミニ工法協会の工法メニューとして組み込まれ、技術・積算資料が整備されている。

【参考文献】

- 1) スーパーミニ工法協会、「スーパーミニ・カーブ工法技術資料」、1999.12