

埋設管水道更新工法の開発と施工

— プラズマモール工法 —

脇 登志夫・相田 浩伸

東京の近代水道も百年を過ぎ、老朽化した水道管への対処、耐震性能の一層の向上等、布設替えの需要も増えてきている。我が国の水道管は地下埋設管であり、布設替え工事の多くは開削工法で行う。開削工法では、工事に伴う近隣への振動騒音等の影響をより低減させる必要から、様々な制約を受け施工能率の低下を余儀なくされている。

筆者等は、そのさまざま制約への解決策として、旧管を拡径破断して新管と置換える「非開削配水本管布設替え工法」(プラズマモール工法)を開発・実施し、成果を得ている。本報文は、本工法の内容と工事の施工結果について報告するものである。

キーワード：水道管、老朽化、更新、耐震性、非開削、布設替え

1. はじめに

我が国の都市部の水道管は、そのほとんどが地下埋設管である。近年、管路の耐震性を強化するため、経年管の布設替え需要が増加しているが、工事の多くは開削工法(図-1参照)で行う。

この工法は道路の通行を遮断、あるいは片側交互通行で行わざるを得ず、特に都心部においては夜間作業となるため、工事に伴う近隣への影響を低減させる必要がある。水道管の更新はそれが道路の路面下であり、また時には路面下の構造物の下にあることからその工事において様々な制約を受ける。

筆者等は、そのような種々の制約・困難への解決策の一つとして、旧管を拡径破断し、新管と置換える「非開削配水本管布設替え工法(プラズマ

モール工法)(以下、本工法とする)を開発してきた。この工法により交通障害の低減、振動・騒音による近隣への迷惑の減少等の成果を得ている。

本報文は、本工法の内容と工事の実施例(2例)の施工結果について報告するものである。

2. 工法概念

本工法では布設替え対象の埋設水道管(以下、旧管と呼ぶ)の内部を清掃し、内部に管軸方向と円周方法にプラズマ切断機で切込み溝を入れる。次に水道推進用鋼管あるいは水道推進用铸铁管(以下、新管と呼ぶ)の先端に取付けたくさび状の破断機を旧管の中に押込み、旧管を拡径破断しながら新管と置換えていくものである。

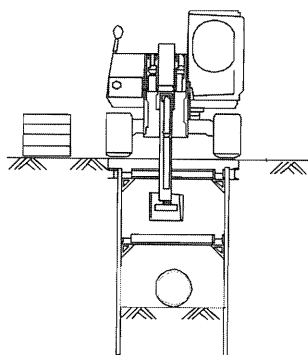


図-1 開削工法概念図

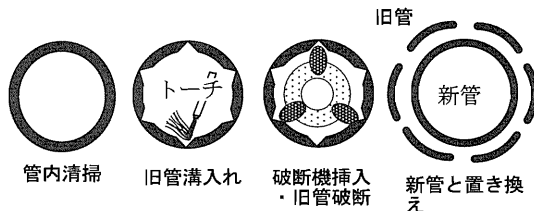


図-2 プラズマモール工法概念図

3. 工法の特徴

以下に本工法の特徴を挙げる。

- ① 推進工法により発進立坑から旧管を破断し

ながらその内側に新管を布設するため、構造物下や道路交差点など開削工事が困難な場所でも布設替えを非開削で行うことができる。

- ② 管の径を縮小することなく同口径の管への布設替えが可能である。
- ③ 管内部からの作業であるので、騒音・振動の発生を在来工法に比べて大きく低減できる。

4. 施工手順図

(1) 施工手順を、図-3に示す。

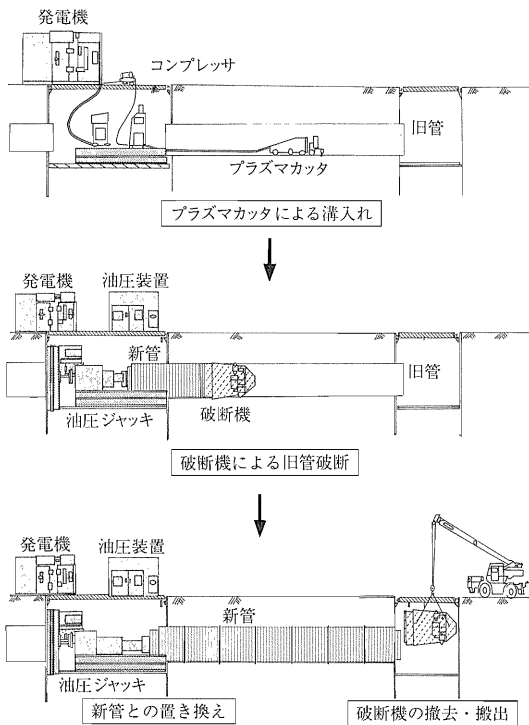


図-3 施工手順図

5. 開発内容

(1) 開発にあたっての検討項目

開発にあたっての検討項目は以下の6点であった。

- ① 旧管への溝加工を行う手段の選択
- ② プラズマ切断（溝加工）の管軸方向，円周方向の制御

- ③ プラズマ切断時の発熱の影響範囲
- ④ 旧管の破断・拡大に伴う周辺地盤変位と近接管に及ぼす影響
- ⑤ 推進距離と推進力の関係
- ⑥ 潤滑材と推進抵抗軽減の関係

(2) 切断機械の選択

溝加工を行うにあたっては、

- ① サンド等の機械的方法
- ② 酸素アセチレンガス・ランサ棒等の熱加工等が考えられ、種々の装置の比較検討を行った。鑄鉄に効率よく溝加工する方法としてプラズマ切断機を採用した。その比較を表-1に示す。

表-1 溝加工装置性能比較

開発内容 比較項目	加工の 確実さ	加工 時間	取 扱 い や す さ	材 料 費	長 距 離 加 工 性	設 備 の 大 き さ
機 械 の 種 類						
ディスクサンダ	○	×	×	×	×	○
酸素・アセチレン	△	×	△	×	△	○
ランサ棒	△	○	△	×	×	○
プラズマ	○	○	○	○	○	△

○：良，△：普通，×：悪い

(3) プラズマ切断機

プラズマ切断は、気中放電によりプラズマ（アーク）を発生させ、高速で金属に吹付けて溶断するものである。プラズマ切断機は、ガス切断機や機械切断機に比べて以下に示す特長を有する。

- ① 切断スピードが早い。
- ② 制御が容易である。
- ③ 長距離加工が容易である。

図-4はプラズマ切断機の構成を示すもので、プラズマ発生装置、コンプレッサ、トーチ（火口）、トーチケーブル、（アルゴン+水素）混合ガスボンベから成る。

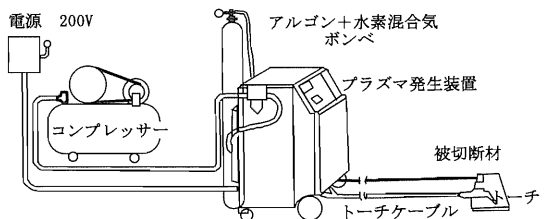


図-4 プラズマ切断機の構成

(4) 主な設備機械

(a) プラズマ切断機トーチ搬送機

プラズマ切断機トーチ搬送機(図-5 参照)は、プラズマ切断機のトーチを積んだ自走装置であり、旧管内を自走しながら管軸方向の溝を入れることと、トーチを回転させて円周方向の溝を入れ

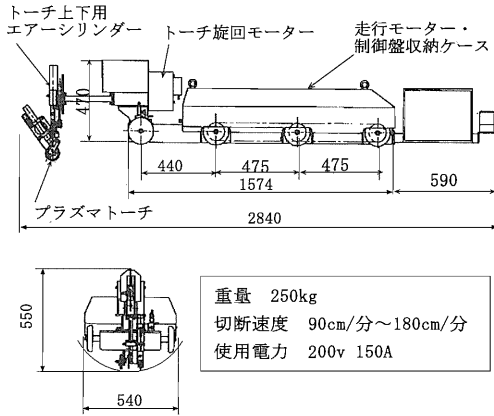


図-5 プラズマ切断トーチ搬送機

る機能を持つものである。

主要構成は、台車(220 cm×54 cm)、駆動輪(チェーン駆動)、駆動用電動モータ(AC 100 V, 5 A)、車載制御板、トーチ回転用電動モータ(AC 200 V, 5.8 A)、トーチ上下用エアシリンダから成っている。なお、搬送機の移動スピードとトーチ回転スピードを段階的に変えるシステムとなっており、その移動スピードは90~180 cm/min、回転スピードは0.08~0.5 rpmである。

写真-1は、プラズマ発生装置と搬送機コントローラ、写真-2はプラズマ切断による加工状況、写真-3はプラズマ切断機トーチ搬送機である。

(b) 破断機

破断機(写真-4 参照)は、図-6に示すように中心部に1断面あたり3個の回転ローラを取付け、2断面計6個のローラを有している。先端部は管内径より小さくしガイドとした。ローラ径を旧管内径より若干大きく(2 cm程度)することで旧管を破断させている。また、破断機の後端部は新管の外径より約2 cm程度大きくし、新管外側にある破断した旧管を介して新管に作用する土圧の低減を期待している。

(c) 推進装置

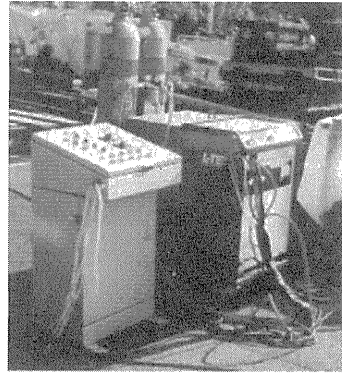


写真-1 プラズマ発生装置とコントローラ



写真-2 プラズマ切断機による溝加工状況

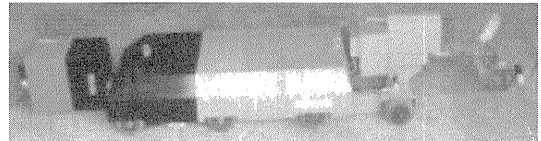


写真-3 プラズマ切断トーチ搬送機

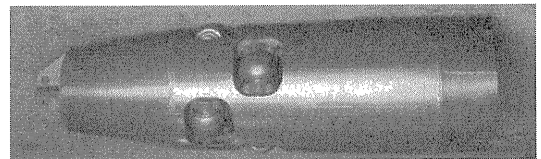


写真-4 破断機

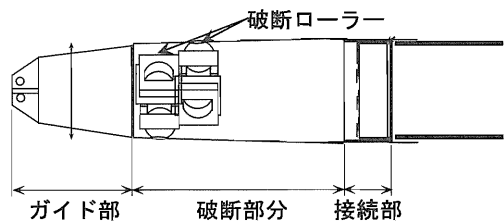


図-6 破断機の構成

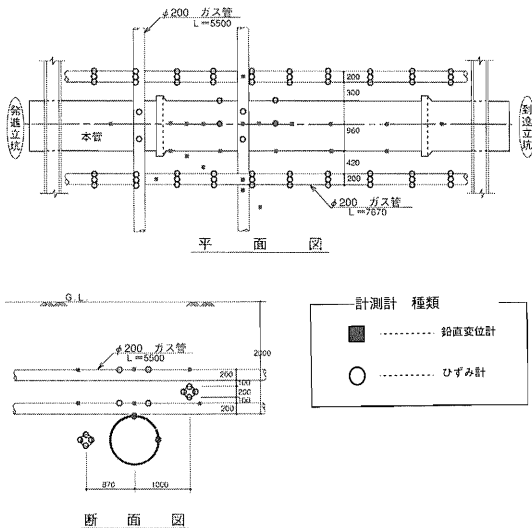
推進装置は、一般の推進工法に使用される、推進機を使用している。

6. 実験概要とその結果

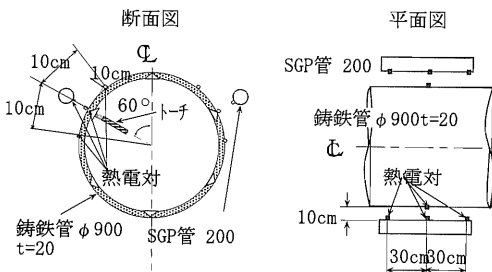
(1) 実験概要および断面図

実用に供した水道管を掘出し実験用に埋設して、今まで述べた装置を使い破断実験を行った。実験は発進立坑と到達立坑を設置し、立坑間に水道管（铸铁管，呼径φ900 mm，土被り2 m，長さ9 m）を埋設した。

図一七は実験における埋設管の設置状況および地盤と埋設管に対する計器配置を示したものである。近接管として配管用炭素鋼管（SGP 200）を既設管に対して平行に2本（長さ7.7 m），直交に2本（長さ5.5 cm）埋設した。計測点数は変位27成分，ひずみ52成分の計79成分である。



図一七 実験における埋設管および計器の配置状況



図一八 熱電対の配置状況

図一八は、プラズマ切断時（管肉厚20 mm，溝深さ10 mm）の発熱の影響を調べるための熱電対の配置状況を示したものである。溝切込み位置の管外側表面に12点，表面から10 cm離れた位置に12点配置した。

(2) 試験項目と実験結果

(a) プラズマ切断（溝加工）の管軸方向，円周方向の制御

旧管に加工する溝深さを制御する方法としては、

- ① プラズマ切断機の電圧を調整する方法，
 - ② トーチの移動速度を制御する方法，
- の2つがあるが，本工法においては，移動速度を制御する方法を採用した。

(b) プラズマ切断時の発熱の影響範囲

プラズマ切断時の発熱は，既設管表面では700℃に達するのに対して，管表面より10 cm離れた地中では，最大2℃の温度上昇しかなく，周辺地盤に及ぼす影響はきわめて小さい。

(c) 拡張量と周辺地盤変位および近接管に及ぼす影響

図一九は拡張による周辺地盤の変位について，実測値と筆者等の推定式を比較したものである。

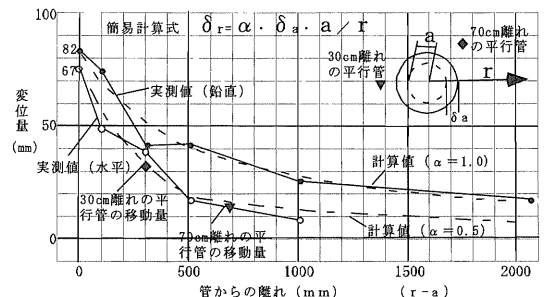
① 拡張による周辺地盤の変位

拡張による周辺地盤の変位は，水平より上方向が大きい。これは，水平方向は無限地盤となるが，上方向は地上までの距離が短いため変位を抑える力が小さいためであると考えられる。

式(1)に示す推定式で，本工法による地盤変位(δr)は十分な精度で推定できるとの結論を得た。

$$\delta r = \alpha \delta a (a/r) \quad (1)$$

ここで，αは補正係数である。



図一九 拡張による周辺地盤・近接管の変位

- ・水平方向 $(r-a)=0\sim 50\text{ cm}$; $\alpha=1\sim 0.5$
 $(r-a)>50\text{ cm}$; $\alpha=0.5$
- ・上方向 $\alpha=1.0$

δa : 拡張量, a : 旧管の半径, r : 旧管中心からの離れ。

② 拡張による近接管の変形と応力

近接管の変形は地盤変位に追従するものと考えられる。平行管で得られた曲げひずみ記録を多項式で近似し、2回積分して平行管の変形を推定した。その結果、平行管の変形は両端固定梁の一端を強制変位させた時の形に近いこと、その梁の長さは、破断機の両端から45度に引いた線との交点の長さに近似することが分かった。

この変形状態における近接管の応力(σ)は、式(2)で表される。

$$\sigma = 6E\delta r(r/L^2) \quad (2)$$

ここで、 E : 近接管のヤング係数, δr : 地盤変位量, r : 近接管半径, L : 両端固定梁と見なせる長さ, である。

式(2)より近接管に発生する応力を推定できるため、その応力が許容応力以下となるように、近接管の離れに対応した破断機の長さを設定できる。

(d) 推進距離と推進力の関係

埋設した旧管をすべて破断した後、同じ場所へ繰返し新管を挿入し新管の推進抵抗の変化を計測した。図-10は推進距離と推進力の関係を示したもので、滑材および継手部(フランジ)の破断力についても併せて図示している。これより以下のことが分かった。

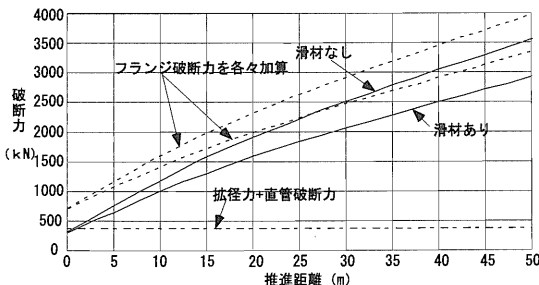


図-10 推進距離と推進力の関係

- ① 管の推進抵抗は管の挿入を、繰返すごとに漸減し、初めの10 m区間は80 kN/m、後半10 m区間は60 kN/mと25%程度低減する。

- ② 継手部では、管厚が増しているためその破断のために約500 kNの推進力が追加される。

(f) 潤滑材と推進抵抗軽減の関係

図-10に示すように滑材の使用により、推進抵抗を20~30%程度低減できる。

7. 工事实績実施内容

筆者等には、本工法の開発後に2件の実施例がある。1件は、1997年12月~1998年1月に、東京都江東区において実施されたもので、径 $\phi 700\text{ mm}$ 、延長約40 mの管を2スパン、立坑を含めて約100 mである。他の1件は、2000年3月に東京都荒川区において既設構造物下の、径 $\phi 700\text{ mm}$ 、延長約6 m管の布設替えを実施している。いずれも東京都水道局の発注によるものである。

以下にその2件の工事概要を報告する。

(1) 新扇橋管路 $\phi 700\text{ mm}$ 配水本管布設替え

(a) 工事概要

① 工事数量・仕様

铸铁製配水本管 : 104 m (埋設深さ2 m)

布設替え対象管(旧管仕様) : 高級铸铁管

- ・内径 $\phi 700\text{ mm}$
- ・管厚 16 mm

工事数量を図-11に示す。

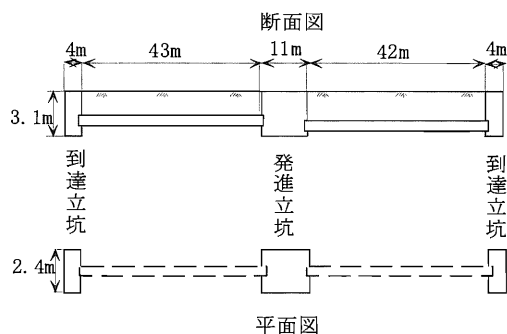


図-11 新扇橋管路全体図

- ② 使用管 : 水道推進用鋼管 $\phi 700\text{ mm}$

- ・内径 $\phi 700\text{ mm}$
- ・外径 $\phi 761\text{ mm}$ (二重鋼管)

③ 土質条件

管が埋設されている地盤の土質は、管の天端に

あたるGL-2 m程までは埋土または粘土、それ以上深GL-5 m程まではシルトまたは粘土で、N値は2~8程度となっている。

(b) 施工結果

図-12は推進力と新管及び旧管の位置との関係を示したものである。

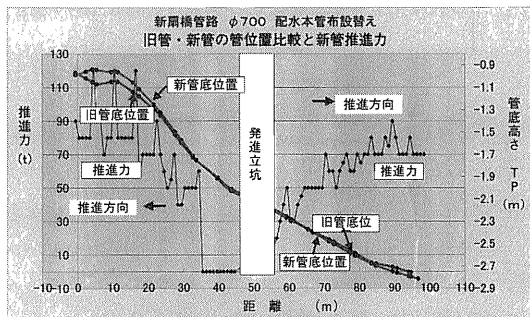


図-12 旧管と新管位置および推進力

このグラフにより次のことが分かる。

- ① 新管は旧管と概ね同じ位置に設置される。
- ② 旧管が大きく曲がった場所（本工事では、上流側追加距離 10 m 付近で、旧管の継手部で約 1.5 度折曲がっていた）では新管の剛性により旧管に追従しきれず、旧管位置から新管は若干離れる。
- ③ 前述の実験から設定した本工事における計画推進力は最大で 1,800 kN であった。実測側では旧管の折曲がり部で、1,200 kN と計画値の約 70% であり、旧管の折曲がり部が少ない下流側においては、実測最大推力は 900 kN と約 50% 程であった。
- ④ 推進力は、旧管の継手部で増加し、継手部を破断機が通過後減少する。
- ⑤ 旧管の継手部の曲がり角度に比例して、継手部を通過するのに必要な力は大きくなる。

(2) 町屋管路φ700 配水本管布設替え

東京都荒川区町屋7丁目~8丁目にかけての施工延長約340 mのうち、その一部の道路を横断した水路下に布設された水路の両側に立坑を設けて、推進を行った。

(a) 工事概要

① 工事数量

水路下に布設されたφ700 mm 鋳鉄製配水本管

6 m

布設替え対象管（旧管）仕様：高級鋳鉄管

- ・内径 φ708 mm
- ・管厚 19 mm

工事概要を図-13に示す。

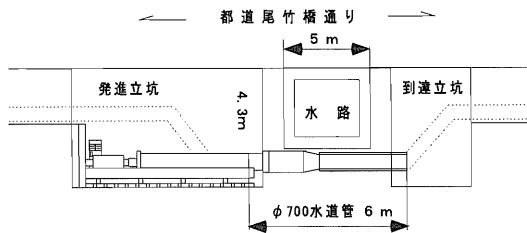


図-13 町屋管路工事概要

② 使用管：K型（コンクリート外装）

φ700 mm

- ・内径 φ700 mm、管厚 11 mm
- 最大外径 831 mm

(b) 施工結果

図-14は、推進抵抗の予測値と実測値との比較である。

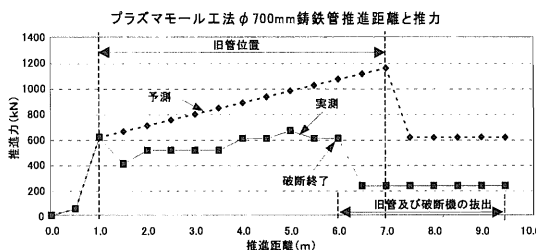


図-14 推進距離と推進力

推進力は旧管破断開始時に 600 kN 程になりその後いったん減少したが、その後は増減を繰り返しながら徐々に増加した。実測の最大推進力は約 660 kN と予測値 1,150 kN の 75% となった。その理由として、

- ① 周辺地盤は緩い砂質地盤であり、
 - ② さらに上部の構造物により土圧が軽減され、推進管への周辺地盤からの締付け力が予想よりも小さかったこと、
- などが考えられる。

また予測では、旧管終端（推進距離 7 m）まで総推進力が増加すると予想したが、終端 1 m 程前で破断が終了し破断機と一緒に旧管が抜けだし

た。その際に旧管との摩擦がいったん切れ、摩擦抵抗が少なくなったものと考えられる。

8. ま と め

プラズマモール工法の開発とその施工からプラズマモール工法による計画を行う上で次の①～③の知見が得られた。

- ① 単位長さ当りの推進抵抗力は、実験で得られた値を基に推定した値よりも、実施工における測定値の方が小さい。今後の課題として実施例を重ね、より適切な推進力の予想手法を開発する必要がある。
- ② 管の破断力は旧管の継手部で最大となり、概ね実験で得られた値を元に推定してよい。
- ③ 近接地盤および近接管への拡径による影響は、筆者らの推定式により評価してよい。

本工法の開発・実施工にあたって関係各位より多大なご協力をいただいている。関係各位の皆様

には記して感謝の意をあらわす次第である。

《参考文献》

- 1) 脇 登志夫, 他:「非開削配水本管布設替え工法の開発」, 第6回建設ロボットシンポジウム(1997年7月)
- 2) 脇 登志夫, 他:「非開削配水本管布設替え工法の開発」, 第7回建設ロボットシンポジウム(1998年7月)
- 3) 相田浩伸, 他:「非開削布設替え工法(プラズマモール工法)による構造物直下に埋設された水道管の布設替え工事の実施」, 土木学会第55回年次学術講演会(2000年9月)

【筆者紹介】

脇 登志夫(わき としお)
清水建設株式会社
土木本部
技術開発部
課長



相田 浩伸(あいだ ひろのぶ)
清水建設株式会社
土木東京支店
技術部第3グループ
技術士



// 新刊 //

現場技術者のための

建設機械整備用工具ハンドブック

- ・建設機械整備用工具約180点の用語解説と約70点の使い方を集録。
- ・建設機械の整備に携わる初心者から熟練者まで幅広い方々の参考書として好適。

■ A5判 約120頁

■ 定 価 : 会 員 1,050円(消費税込)、送料 420円
非会員 1,260円(消費税込)、送料 420円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 (機械振興会館)

TEL.:03(3433)1501 FAX.:03(3433)0289