

(54) パソコングラフィクスによる地中ライフライン網の地震被害予測

神戸大学工学部 高田至郎 上村昌弘

1. はじめに ライフライン施設の耐震安全性を調査することは都市の地震防災計画を策定する上できわめて重要である。一般に地震防災計画は、地震が発生する以前に行なうべき事前対策と発生後に実施すべき復旧などに関する事後対策に分類される。事前対策を検討するためには地震時におけるライフライン施設の被害予測を行ない、それを基礎資料とする必要がある。また、適切な被害予測は事後対策を検討する上で有用である。本研究では、都市ライフラインの一例として奈良市域のガス供給網を取り上げて、その耐震安全性について検討し、被害予測手法を提示している。本研究の計算は、すべてパソコンを使用して行なえるように工夫し、結果の表示はパソコングラフィクスを使用している。従来行なわれているライフラインの被害予測手法では、大型計算機を使用しており、一度予測を行なうと、異なる想定地震やライフライン施設の更新に対応して幾度も、即座に被害予測を実施、結果を得るのが困難であった。また、かなりの専門的知識を必要とし地域防災計画を立案する行政担当者が直接にライフライン全体の地震被害を予測するのが実際上不可能であった。しかし、本研究で用いた方法では、被害予測の解析手法に関するプログラム、地域地盤データ、ライフライン施設に関するデータがパソコンフロッピーに収納されており、パソコンの質問に答えて想定地震の規模と位置をインプットすれば市域各地の震度階、ライフラインの被害状況などがカラー画面として表示されるようになってきている。従って、特に専門的な知識を必要とすることなく被害予測を行なうことができる。地盤に関する更に詳細なデータが得られたり、施設の更新がある場合にはフロッピーのその部分のデータに変更を加えれば良い。本文の図面の大半はグラフィクス画面をコピーしたものである。

2. 地震想定 著者が過去の地震被害資料を調査した結果では、地割れ、地盤沈下、自然斜面の崩壊が震度階V以上で発生したケースは全体の70-80%に達している。ライフラインにかなりの被害をもたらす最低震度階をVと考えて、対象地域の一部でも震度階がV以上となる地震の震央とマグニチュードを加速度アテニュエーション式から逆算して求めた。図1は濃尾地震に対応する想定地震位置を示したものである。実際は、図1の任意の位置での地震の想定が可能であるが、本解析では図1に示す他4個の地震想定を行なっている。

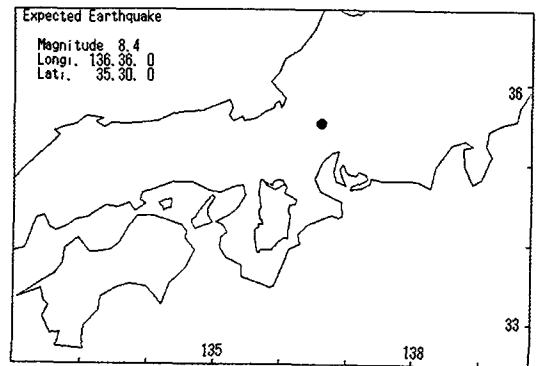


図1 想定地震

3. 地盤条件 奈良市域をメッシュ(308x382m)で分割し、各メッシュを3種類の地盤に分類した。図2にその結果を示す。図中、Alluviumとあるのは沖積などの未固結堆積地盤(A地盤)、Semi-Consolidatedは段丘層、大阪層群などの未固結堆積地盤(B地盤)、Consolidatedは室生層群、領家コンプレックスなどの固結堆積地盤および岩盤(C地盤)である。現、旧河川の流域が比較的耐震強度の低い地盤となっている。次に、地盤液状化の判定について述べる。奈良市域にある1500本のボーリング資料を利用して、まず3ケースに各メッシュ地盤を分類した。すなわち、飽和砂質土層を対象として、A地盤

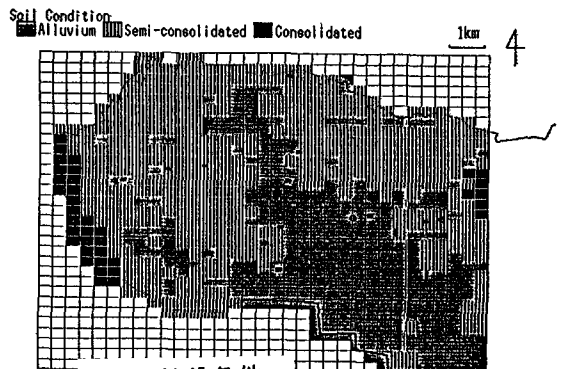


図2 地盤条件

で表層数 m の平均 N 値が5未満もしくはA地盤で N 値が10未満かつ河川、胡沼付近を液状化可能性大とし、A、B地盤で N 値が10以上かつ河川、胡沼付近もしくはB地盤で N 値が20未満を液状化可能性有、その他を液状化可能性無とした。更に液状化可能性大地盤に対して F_L 値を計算して液状化判定を行なった。この際、任意の想定地震に対して判定を実施するために、 $F_L = R / k_s \cdot L'$ と表現し、加速度アテニュエーション式から求められる各地点の震度 k_s が $k_s \geq R / L'$ を満足する時に液状化が発生するものと考えた。図3に液状化発生地点を示している。この結果は図1に示した想定地震に対するものである。5つの想定地震に対して同様の計算を実施したところ、液状化可能性大の地域のほとんどで液状化が生じることが知られた。図4はガス管路が切盛境界域を通過している地点にX印を記入したものである。奈良市域には幾つかの土地造成地域が存在しているが、造成前後の地形図を比較することによって得られた資料である。切盛境界では、切土、盛土の相対地盤運動によって管路に被害を引き起こす可能性があるので後述の解析に取り込んでいる。図5は地盤条件を考慮した加速度アテニュエーション式より求めた地盤加速度を震度階表示したものである。震度階 V^- 、 V^+ は夫々80-150Gal, 150-250Galに対応している。本図より、濃尾地震と同規模の想定地震に対して奈良市域は V^+ あるいは VI となるのが分かる。遠地地震であるので地盤条件が震度階分布に良く反映された結果となっている。用いたアテニュエーション式は、亀田、杉戸⁽²⁾の提案によるもので、当該地点の N 値の深さ方向分布を考慮し得るものである。パソコンでは、地震を想定すれば図5に相当する震度階分布が画面にカラー表示される。

4. 高、中圧ガス管路網の耐震性検討 ガス供給管路網はガス圧力の違いにより高、中、低圧導管に区分される。低圧導管はその延長が長くラインを追って耐震性を検討することが困難なため、次節で述べるように先述のメッシュ毎に面的に検討することとし、本節では、ネットワークを構成している高、中圧導管の耐震性についてラインに沿ってその地震耐久度を検討する。高、中圧導

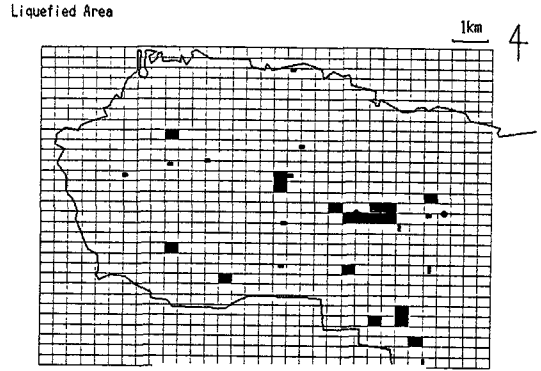


図3 液状化発生地域

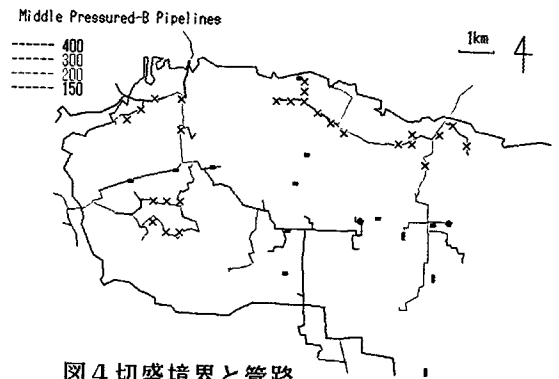


図4 切盛境界と管路

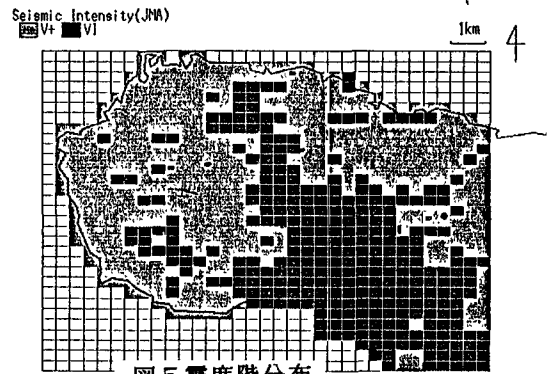


図5 震度階分布

表1 各震度階における地盤速度振幅、地盤ひずみ、管体ひずみの範囲、平均値、標準偏差

	V^-	V^+	VI	VII
V_0 (kine)	8 - 15	15 - 25	25 - 40	40 - 60
ϵ_s ($\times 10^{-4}$)	4 - 15	7.5 - 25	12.5 - 40	20 - 60
ϵ_s ($\times 10^{-4}$)	4 - 15	7.5 - 25	12.5 - 40	20 - 60
μ ($\times 10^{-4}$)	9.5	16.25	26.25	40
σ ($\times 10^{-4}$)	1.83	2.91	4.58	6.66

管は溶接鋼管でありその耐久度を管体ひずみによって判定する。管体ひずみ発生に關する個々の要因には不確定要素が多分に含まれている。そこで本解析では、各震度階毎に、或地盤に埋設されている或形状の管路が受ける特定の管体ひずみレベルの発生確率を予め算出し、モンテカルロシミュレーションによって高、中圧導管の各位置での発生管体ひずみレベルのサンプル状態を抽出する方法を用いた。表1はA地盤について、各震度階毎に仮定した地盤速度振幅 V_0 の範囲と、地盤ひずみ ϵ_f の範囲を示している。地盤ひずみは、A地盤での波動見掛け速度を100-200m/secとして地盤速度振幅値をそれで除したものである。又、表中の ϵ_s, μ, σ は、地盤ひずみの管体ひずみへの変換率 β を1.0

とした場合の管体ひずみの範囲と平均値、分散値を示している。異形管の場合には変換率を2.5としている。 P_1, P_2 を夫々管体ひずみが破壊ひずみ ϵ_f を超える確率、破壊ひずみの α 倍と破壊ひずみの間にある確率とすれば、

$$P_1 = 1 - \phi[(\epsilon_f - \beta\mu)/\beta\sigma]$$

$$P_2 = 1 - \phi[(\alpha\epsilon_f - \beta\mu)/\beta\sigma] - P_1$$

となる。ここに、 ϕ は規準化されたガウス関数である。各震度階に対して P_1, P_2 を計算し、損傷確率マトリックスを求めたのが表2である。本表はA地盤に埋設されている異形管に対するものである。 ϵ_f は1%としている。例えば震度階VIでは破壊ひずみの80%に達する確率は0.106であることを意味する。図6、図7には中圧Aおよび中圧Bラインについてモンテカルロ法によって被害状態をシミュレートした結果を示した。ラインの各部分については、その地点の震度階が定まれば損傷確率が決定されてしまうので、図6、図7は管体ひずみ発生に与える要因を包括し、システム全体の中での弱点箇所を指摘したものといえる。

5. 低圧導管の耐震性検討 低圧導管は大部分が鑄鉄管路で図8に示す継手を有している。これらの耐震性検討では、予め継手抜け量と継手損傷の関係を損傷確率として求めておいて、各継手の個数に損傷確率を乗じて継手破損個数を算出し、メッシュ内での総破損個数をグラフィック表示する方法を用いている。図9は継手損傷確率を求める考え方を示したものである。本解析では、継手に抜けを生じ

表2 損傷確率マトリックス A地盤 ($\beta = 2.5$)

	v^-	$-v^+$	VI	VII
Over ϵ_f	0	0	0	0.55
Over $0.8\epsilon_f$	0	0	0.106	0.337
Less $0.8\epsilon_f$	1	1	0.894	0.113

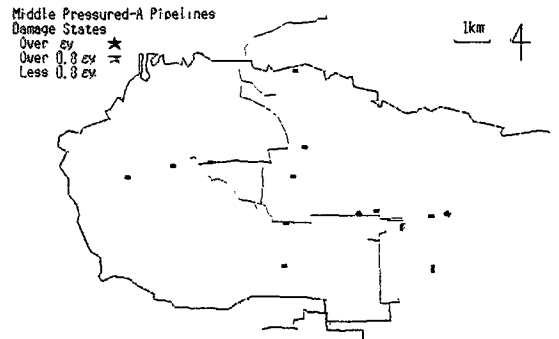


図6 中圧Aラインの損傷状態

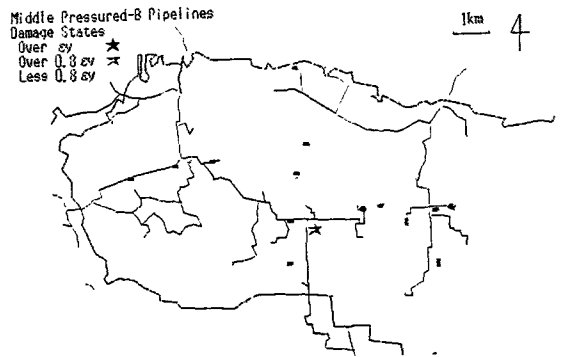


図7 中圧Bラインの損傷状態

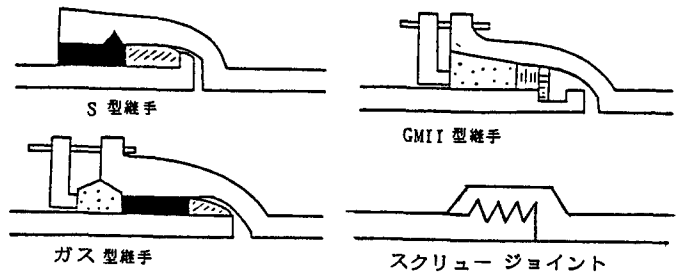


図8 低圧導管継手

る原因として、地震波動、液化化、切盛境界に於ける地盤相対運動の3要因を考慮している。図10、図11は継手の特性を考慮した管路の地震応答解析より得られた波動による地盤ひずみ量と継手の抜け量の関係、地盤変状変位と継手の抜け量の関係を示している。波動による場合には図10を用い、液化化、切盛境界の影響を考慮する場合には図11の関係を利用している。液化化の場合には有効圧に相当する浮力を軟化した地盤ばねに支持された管路に与えて浮上量を計算し、その値を管軸方向および管軸直交方向の変状変位としている。又、切盛境界では地点の加速度が300Gal以上となった時に液化化の場合と同値の変状変位を与えている。震度階 V^+ 、 V^I で数cmの変状変位である。図12には液化化のみを考慮した場合の継手破損個数の分布を示し、図13には3つの要因を考慮した場合の結果を示した。液化化の影響が極めて大きいことが知られる。管種別では、印ろう継手であるS型のある旧市街地域での被害が顕著となっている。図13は地域地震防災対策に有用な資料を与える。

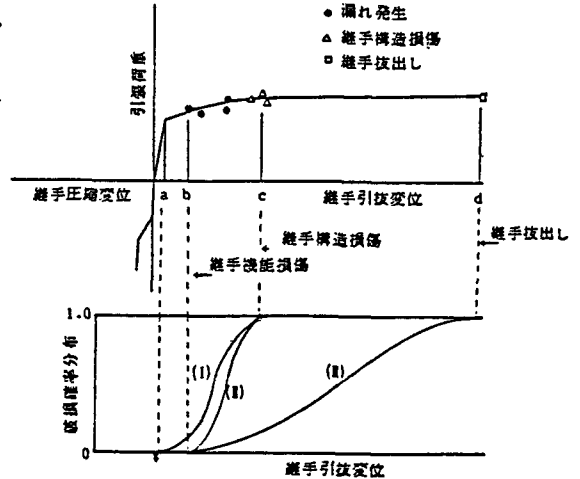


図9 継手機能に関する概念図

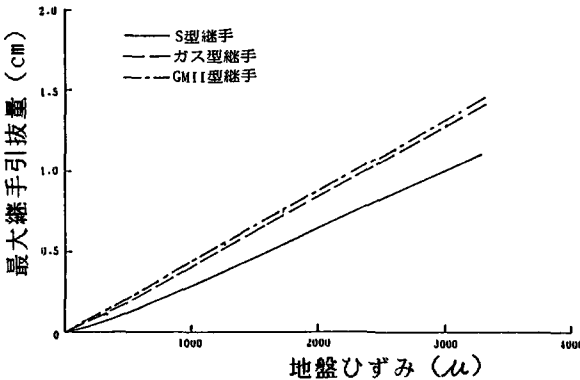


図10 地盤ひずみと継手引抜量

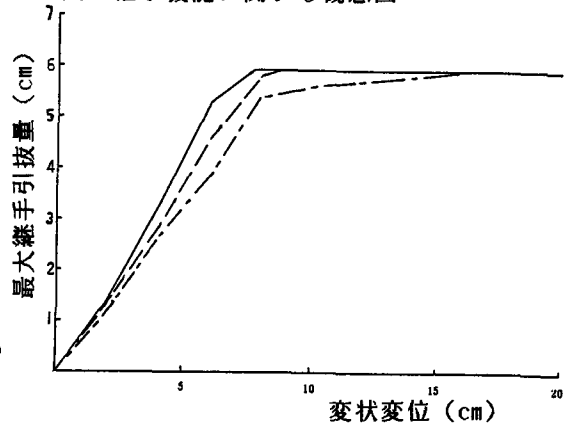


図11 変状変位と継手引抜量

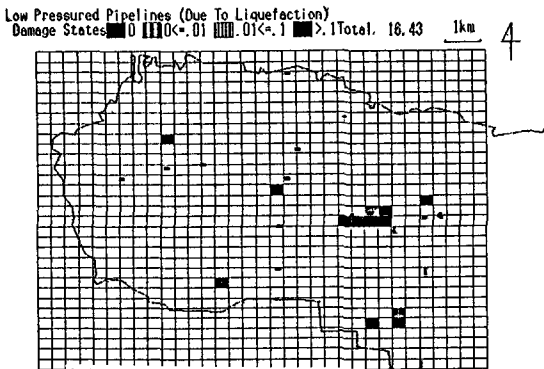


図12 液化化による継手破損個数

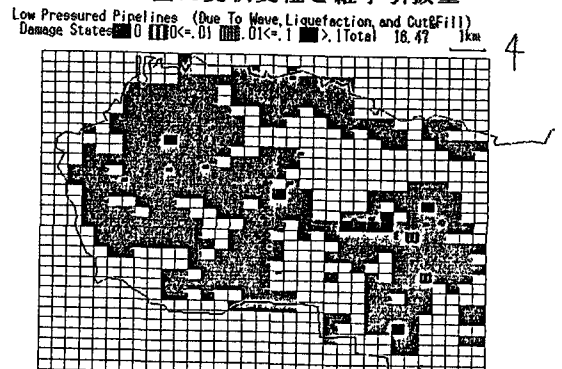


図13 波動、液化化、沈下による継手破損個数

参考文献 (1) 高田他：建設工学研究所報告、No.19，昭52。(2) 亀田他：第5回日本地震工学シンポジウム、昭53。(3) 高田他：第6回日本地震工学シンポジウム、昭57。