

地盤の強さを考慮した配水管の最適設計に関する一考察

名古屋大学 工学部 正会員 松尾 穂
 名城大学 理工学部 正会員 堀内孝英
 名城大学 理工学部 学生 ○西村 康

1 まえがき

本報告は、静態時、地震時における配水管の破壊を地盤との関係で統計的、確率的に分析した後、経済的に評価できる設計方法を見いだそうとするものである。

2 埋設管の破壊確率 P_f

埋設管の安全性については、その破壊例や事故例が大きな判断基準となる。埋設管の管種、口径別の P_f を地表面から深さ 5 m までの土質を無視した地盤の N 値との関係で検討した結果を表-1, 2 に示す。表-1 は昭和 47 年度における名古屋市配水管の破裂実態資料をもとに、管体部の破壊確率 (P_{fs})、継手部の破壊確率 (P_{fj}) を、また表-2 は新潟地震 (昭和 39 年) における埋設管 (水道管、ガス管、天然ガスパイプライン) の震害記録をもとに、管体部の破壊確率 (P_{fe})、継手部の破壊確率 (P_{fe}) についてまとめたものである。これらの表から埋設管の管種、口径別の P_f は、静態時、地震時とも地表 5 m までの N 値の増大に伴って減少することが認められる。

表-1 名古屋市配水管の破壊確率 (P_f)s

★鋼管は推定値 (铸铁管の 1/3)

管種	口径 cm	管体部 ($P_{fs} \times 10^{-3}$)			継手部 ($P_{fj} \times 10^{-3}$)		
		$N < 4$	$4 < N < 10$	$10 < N$	$N < 4$	$4 < N < 10$	$10 < N$
石綿管	10	1.4	1.2	1.2	1.4	1.1	1.1
	15	1.5	0.34	0.14	4.4	1.0	0.55
	20	2.2	0	0	0	1.0	0
铸铁管	10	0.41	0.1	0.1	1.9	1.4	0.89
	15	0.52	0.39	0.19	3.4	2.5	1.3
	20	0.37	0.29	0.22	1.7	1.3	0.96
鋼管	10	—	—	—	0.77	0.50	0.33
	15	—	—	—	1.3	0.96	0.50
	20	—	—	—	0.69	0.53	0.39

3 埋設管に破壊を及ぼす地震の再来確率 F_e

対象とする地域の埋設管が今後 t 年に遭遇すると期待される地震は、確率的に求められる。すなわち、過去の地震記録より、対象地域の速度振幅 V_{kine} は次式により求められる。

$$\log V = 0.61M - (1.66 + \frac{360}{X}) \log X - (0.61 + \frac{183}{X}) \quad \text{-----(1)}$$

(金井式)

ここに M はマグニチュード、 X は震源からの距離である。いま、地震発生の一周期性を無視すれば、 V 以上の地震が 1 年間に起きる確率は、次式により求まる。

$$P = S(V) / t \quad \text{-----(2)}$$

ここに、 P は V 以上の地震が 1 年間に起きる確率、 $S(V)$ は V 以上の地震累積度数、 t は統計年数である。したがってこのような地震が t 年間に 1 回起こる確率は、次式で求められる。

$$F_e = 1 - (1 - P)^t \quad \text{-----(3)}$$

いま、名古屋市を対象に 1500 年 ~ 1972 年までの地震資料 (理科年表) から、各 V ごとの地震再来確率を (1) ~ (3) 式を用いて算定した結果を図-1 に示した。この図より、名古屋市における今後 t 年間に 1 回生起する V の地震再来確率を求めることができる。

4 配水管の最適設計のための評価方法

表-1.2 の結果から、地盤改良や、良好な地盤の選定が有効と認め、 V_{kine} 以上の地震の再来確率

表-2 新潟地震 (1964) による埋設管の破壊確率 (P_{fe})

管種	口径 cm	管体部 ($P_{fe} \times 10^{-3}$)			継手部 ($P_{fe} \times 10^{-3}$)		
		$N < 4$	$4 < N < 10$	$10 < N$	$N < 4$	$4 < N < 10$	$10 < N$
石綿管	10	2.1	1.2	3.0	330	230	110
	15	4.0	2.8	1.2	580	380	180
	20	2.8	2.0	8.0	390	260	130
铸铁管	10	8.0	4.0	4.0	4.4	1.2	1.2
	15	1.0	1.0	5.0	9.5	8.0	5.5
	20	1.0	1.0	5.0	2.70	2.00	9.5
鋼管	10	—	—	—	5.4	2.7	9.0
	15	—	—	—	3.6	1.8	9.0
	20	—	—	—	1.8	9.1	9.0

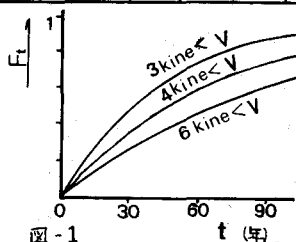


図-1

られるが、これらは、実際には不可能に近い。これに対して、管種の選定は設計上比較的自由に、しかも地盤改良などに対して低費用で行なえる。したがって埋設管の安全性は地盤を考慮した最適な管種を決定する方向で行なうことになる。

埋設管を経済的に評価するためには、費用関数の確立が必要となる。埋設管は永久構造物でないため、その耐用年数内に1回地震をうける立場をとる。費用関数の確立にあたり、地震発生年数、発生した費用、便益を等価とするため、社会割引率 r を用いて、すべてを現在価値 P_0 で定式化すれば、次式のようになる。

$$P_0 = \sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t} - \left\{ C_0 + \sum_{t=0}^T \frac{M_t}{(1+r)^t} (R_F)_S + F_E (R_F)_E \frac{C_F}{(1+r)^t} \right\} \quad (4)$$

ここに、 B_t は便益、 C_0 は初期埋設費、 M_t は維持管理費（修理復旧費 C_{cr} 、漏水費 C_L 、供給給水費 C_S 等）、 C_F は破壊損失費（ C_{cr} 、 C_S 等）、 T は地震発生年（耐用年限）である。(4)式中の $\{\}$ は期待総費用 C_T である。したがって、 P_0 最大、すなわち C_T 最小値が最適設計となる。

5 配水管最適管種の決定

(4)式に用いた諸条件は以下の通りである。口径：10、15、20 cm、 N 値： $N < 4$ 、 $4 < N < 10$ 、 $10 < N$ 、 T ：0、15、30、60年、 t ：30、60年、 r ：6%、 B_t ：一定とした。図-2は計算結果の一例を示したものである。この図より、 C_T が最小となる管種が最適解として決定される。たとえば、口径10cmの $N < 4$ についてみれば、 $T=0$ 、15年においては、鋳鉄管が最適解となるが、 $T=30$ 、60年においては、石綿管が最適解となる。一般的に見れば、小口径を対象としたこの試算結果から、次のことが言える。① 鋼管では初期埋設費用により、全体が支配されてしまう。しかし、大口径で破壊損失費用が莫大になる場合には、鋼管が最適解となることが予想される。② 石綿管では地震発生年数によって、小口径管が有利であることを示唆している。③ 鋳鉄管は、比較的埋設初期時に地震が発生する場合には有利な材料といえる。しかし、この算定に当っては、管の材質による物理的耐用年数が考慮されていないので、以上の結論的なことは言えない。したがって、耐用年数を考慮した試算例については、講演時に発表する予定である。

6 あとがき

本報告は、配水管の最適設計への基本的な方法設定のもとに、種々の条件を単純化して試算を行なう結果の一例を示したものである。したがって、今後条件等を変えて多数の計算を行なっていく予定である。

表-3 費用単価表

管種	口径 (cm)	C_0 (万円/4m)	C_{cr} (万円/件)	C_L (万円/件)
石綿管	10	3870	19.5	1.8
	15	4120	19.8	4.5
	20	4570	20.2	8.7
鋳鉄管	10	4240	19.7	1.8
	15	4560	20.0	4.5
	20	4940	20.4	8.7
鋼管	10	5370	20.3	1.8
	15	5990	20.8	4.5
	20	6630	21.3	8.7

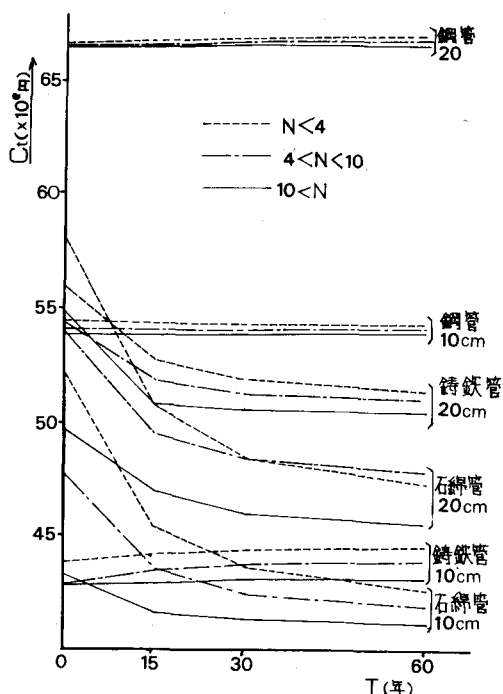


図-2 期待総費用計算結果例