

ファイバー要素を用いたヒューム管部材断面の性能検討

中日本建設コンサルタント（株） ○田口 正宣 中根 進

鉄筋コンクリート管の老朽化による耐荷力の低下に対して、管更生により複合管での対策を考えると、管きょ管更生工法における設計・施工管理ガイドライン 2017 年版では、サンプリング試験などによりコンクリート圧縮強度、鉄筋引張強度等を確認し、既設管耐力を推定することを基本としている。

経年管の既設管耐力を知るための 1 つの方法として本稿では、ファイバー要素を用いて推定する方法を示すが、この方法では、配筋仕様や材料のコンクリート圧縮強度、鉄線引張強度だけでなく、その材料の応力-ひずみ曲線が必要となる。

Key Words : ヒューム管、ファイバー要素、材料構成則、強度特性

1. まえがき

鉄筋コンクリート管は、JSWAS 等でひび割れ保証荷重、破壊保証荷重が定められた性能保証型の二次製品である。このため、内径、管厚は定められているが、コンクリート圧縮強度、鉄筋仕様(引張強度、鉄筋量)は知らされていない。

しかしながら、鉄筋コンクリート管の老朽化による耐荷力の低下に対して、管更生により複合管での対策を考えると、管きょ管更生工法における設計・施工管理ガイドライン 2017 年版では、サンプリング試験などによりコンクリート圧縮強度、鉄筋引張強度等を確認し、既設管耐力を推定することを基本としている。

本稿では、入手した 1972 年の外圧 1 種管の配筋仕様を用いて、コンクリート圧縮強度、鉄筋引張強度を知った際のヒューム管部材断面性能をファイバー要素を使って検討する。

2. 材料構成則

2.1 コンクリート構成則

土木学会 2017 年制定コンクリート標準示方書・設計編では、設計断面耐力の算定のためのコンクリートの構成則を式(1)で表す。この構成則を図 2.1 に示す。

$$k_1 = 1 - 0.003f'_{ck} \leq 0.85 \quad \dots\dots (1)$$

$$\epsilon'_{cu} = \frac{155 - f'_{ck}}{30000} \quad 0.0025 \leq \epsilon'_{cu} \leq 0.0035$$

ここで、 f'_{ck} の単位は N/mm^2

曲線部の応力ひずみ式

$$\sigma'_c = k_1 f'_{cd} \times \frac{\epsilon'_c}{0.002} \times \left(2 - \frac{\epsilon'_c}{0.002} \right)$$

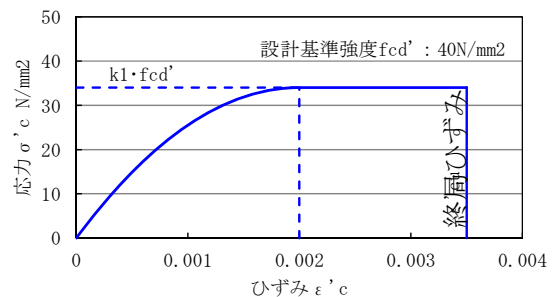


図 2.1 コンクリートの応力-ひずみ曲線

2.2 鉄筋構成則

Bi-Linear モデルは、図 2.2 に示す弾性係数と降伏後の勾配の 2 直線を組み合わせた、最も簡単なモデルであり、広く使用されている。

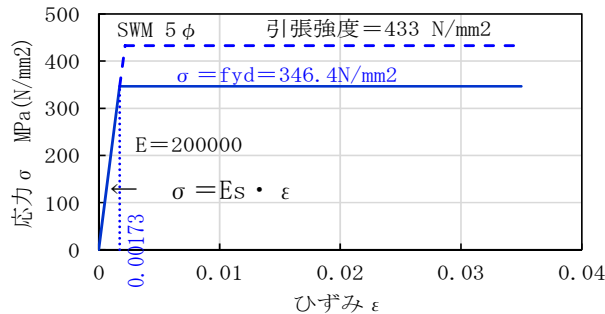


図 2.2 鉄筋(線)の応力-ひずみ曲線

f_{yd} : 鉄筋の引張降伏強度

鉄筋の引張強度に対する降伏点強度の比は 65～80% 2017 コンクリート標準仕方書 p. 184

3. ヒューム管材料の強度特性

3.1 コンクリート圧縮強度特性

鉄筋コンクリート構造物の設計には、コンクリートの設計基準強度を用いるが、この値は土木学会のいう特性値である。特性値に材料係数を除したものを設計用値といい、材料係数は、1.0 または 1.3 で除した値である。

圧縮強度特性は、配合設計からコンクリート圧縮強度のばらつきを考慮して設定する。

土木学会[施工編：施工基準] p. 100 で配合強度は、以下の条件を満足するよう求めている。

- ・圧縮強度の試験値は、設計基準強度を下回る確率が 5 % 以下とする。

一方、発注者側では、受入基準を設けている。これもコンクリート標準仕方書[施工編] p. 198 にあり、次のようになっている。

- ・1 回の試験結果は、購入者が指定した呼び強度の強度値の 85 % 以上でなければならない。
- ・3 回の試験結果の平均値は、購入者が指定した呼び強度の強度値以上でなければならない。

施工基準と受入基準を満足する設計基準強度の配合強度を求めると、表 3.1、図 3.1 となる。95 % 信頼区間下限値が設計基準強度 40 N/mm² である。

表 3.1 コンクリート圧縮強度仕様 (JIS)

設計基準強度 f^{c}_{ck} (N/mm ²)	40	
コンクリート強度 (N/mm ²)	平均値	46.9
	標準偏差	4.19
	特性値	40.0

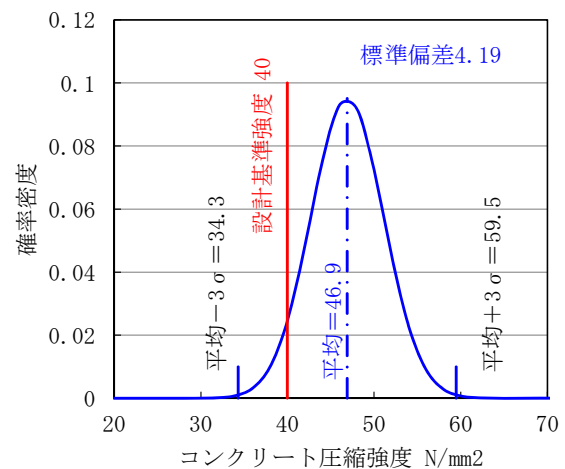


図 3.1 コンクリート圧縮強度特性 (設計基準強度 40 N/mm²)

3.2 鉄線の引張強度特性

鉄線引張強度のばらつきも特性として表し、JIS G 3532 : 2011 を参考にして設定する。JIS では、鉄線は構造用鋼材ではないため、 $\phi 5\text{ mm}$ の引張強度は、次のように幅が広い。

引張強さ： $\phi 5.00\text{ mm}$ 390～930N/mm²

上下限值の中間を平均値とし、上下限値を 3σ の値として標準偏差値を算定し、鉄線の強度仕様を表 3.2 とした。

表 3.2 を正規分布の形で表すと図 3.2 となる。95%信頼区間の下限値(特性値という)は、433 N/mm² となる。

表 3.2 鉄線の引張強度仕様 (JIS)

線種		SWM-B
鉄線引張強度 σ (N/mm ²)		—
鉄線引張強度 σ (N/mm ²)	平均値	660
	標準偏差	137.8
	特性値	433
ヤング係数 (kN/mm ²)		200

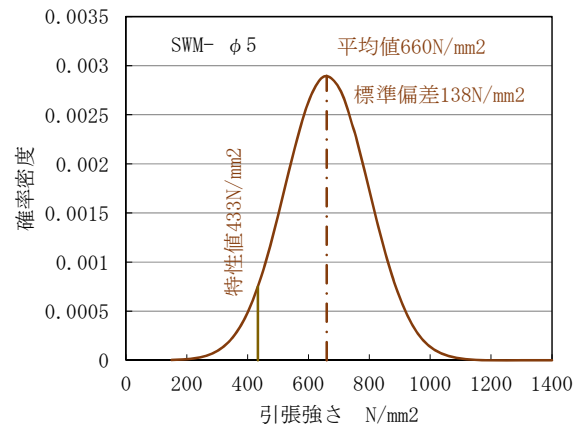


図 3.2 鉄線の引張強度特性 (JIS)

4. ヒューム管の部材断面性能と構造性能

4.1 ヒューム管の部材断面性能

ヒューム管の部材断面性能はファイバー要素により材料構成則を用い図 4.1 に示す曲げモーメント M -曲率 ϕ の関係を求め、コンクリートの終局強度の曲げモーメントを断面耐力とする。

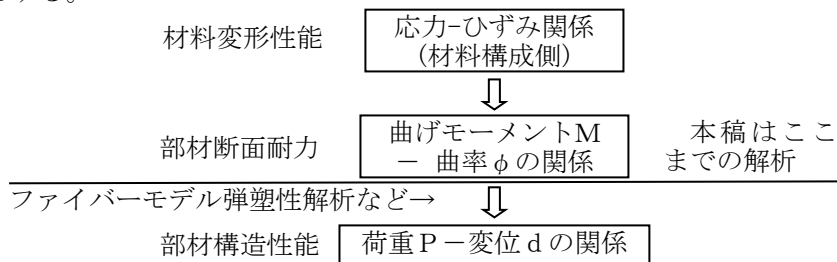


図 4.1 材料構成則によるヒューム管の断面性能

図 4.2 に示すように、断面を多数のファイバー要素(層状)に分割する。圧縮縁ひずみ ϵ_{c0} と中立軸位置 y_0 を仮定することにより、ひずみ分布を層状(本稿では、断面を 20

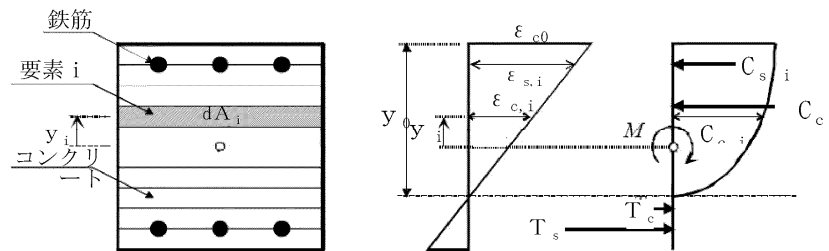


図 4.2 部材断面のひずみ分布と応力分布

分割) ごとに算出し、コンクリート及び鉄筋の構成則から応力分布を算出する。算出した応力分布から、コンクリートの圧縮合力、鉄筋の引張合力を求め、釣り合うまで中立軸を変えて収束計算させる。

収束後、さらに圧縮縁ひずみを逐次増加させ、コンクリートの終局ひずみ $\epsilon'_{cu}=0.0035$

まで計算する。

軸方向の釣り合い状態を満足するとき、図心まわりのモーメントの釣り合いは次式となる。

$$\text{モーメントの釣り合い：} \quad M = \sum_{i=1}^n \sigma_{c,i}(\varepsilon_i) y_i A_{c,i} + \sum_{i'=1}^{n'} \sigma_{s,i'}(\varepsilon_{i'}) y_{i'} A_{s,i'}$$

曲率 ϕ は、軸方向の釣り合いを満足する中立軸位置 y_0 と圧縮縁ひずみ ε_{c0} から下式で求める。

$$\phi = \frac{\varepsilon_{c0}}{y_0}$$

4.2 ヒューム管の構造性能

ヒューム管には、JSWAS A-1 で破壊保証荷重が設定されている。5. で検討する○700、○1000 の例を示す。

破壊荷重に対応する破壊保証曲げモーメント M_B を (2) 式で計算し、表 4.1 に示す。

$$M_B = 0.25 P_B \cdot r + 0.165 W \cdot r \quad \cdots \cdots (2)$$

M_B : 破壊保証モーメント (kN・m/m)

P_B : 破壊試験荷重 (kN/m)

r : 管厚中心までの半径 (m)

W : 管の自重 (kN/m)

表 4.1 検討管径と破壊保証荷重(1965)

検討 管径・管種	配筋 鉄線 mm	JSWASひび 割れ荷重 kN/m	ひび割れ曲げ モーメント kN・m/m	JSWAS破 壊荷重 kN/m	破壊曲げ モーメント kN・m/m
○700 B 型 1 種管	φ 5 単鉄筋	21.58	2.93	42.17	4.22
○1000 B 型 1 種管	φ 5 複鉄筋	27.46	5.69	59.82	8.76

5. ヒューム管の部材断面性能計算

5.1 単鉄筋断面と複鉄筋断面の部材断面性能比較

単鉄筋断面 (○700) と複鉄筋断面 (○1000) の曲げ耐力を図 5.1 に示す。あわせて 1971 年当時の破壊保証荷重を示す。

設計基準強度であるコンクリート圧縮強度 40 N/mm²、鉄線引張強度 433 N/mm² としてヒューム管の曲げ耐力をみると、○700、○1000 とともに部材の曲げ耐力は規格の破壊保証曲げモーメントを下回った値を示している。単

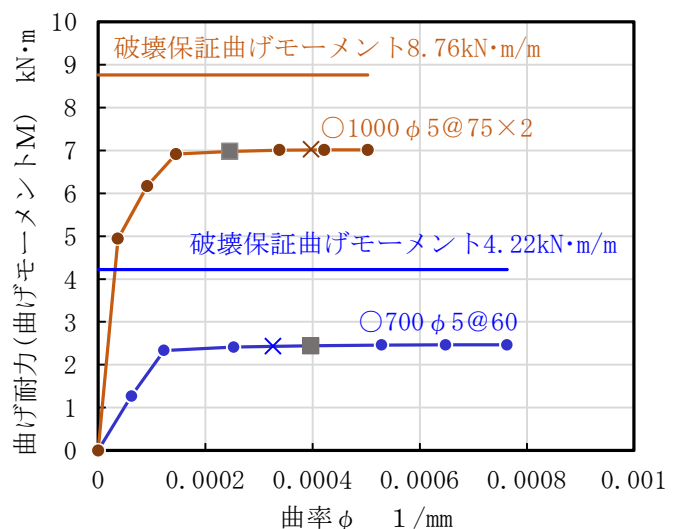


図 5.1 ○700 と ○1000 (管頂) の M- ϕ の比較

鉄筋断面の○700 の曲げ耐力は、破壊保証曲げモーメントの 60%しか示していない。

6. 材料強度のばらつきによるヒューム管部材断面性能

鉄線引張強度、コンクリート圧縮強度にはばらつきがあり、断面性能にもその影響が現われる。

曲げ耐力(終局曲げモーメントと破壊保証曲げモーメントの比)を部材性能として表す。

材料強度の分布を使ってそれぞれの強度を図 6.1 のように抽出する。抽出強度から材料構成則を設定する。

抽出数を 10,000 個とし、曲げ耐力(終局曲げモーメント)/破壊保証曲げモーメントを計算し、分布として表す。

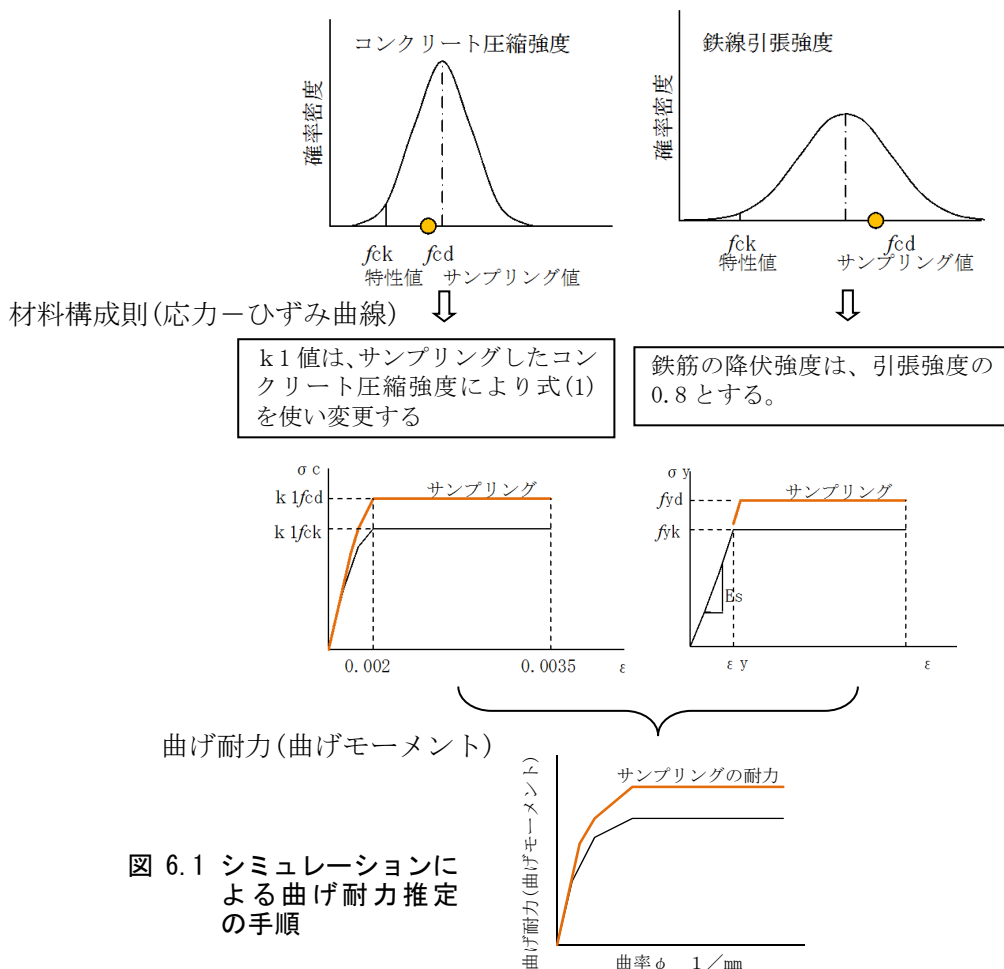


図 6.1 シミュレーションによる曲げ耐力推定の手順

口径 700 のサンプリングしたコンクリート圧縮強度と鉄線引張強度を使って計算した比(=曲げ耐力/破壊保証モーメント)を図 6.2 に示す。また、鉄線引張強度に対する比を図 6.3 に示す。図 6.3 の鉄線の引張強度に対する比の幅は、コンクリート圧縮強度によるものを表している。

口径 700 の単鉄筋断面では、破壊保証モーメントを確保するためには、図 6.2、図 6.3 からコンクリート圧縮強度は、おおむね 45 N/mm² 以上、鉄線引張強度は、750 N/mm² 以上の材

料を用いることが必要と思われる。

比(曲げ耐力／破壊保証
証モーメント)

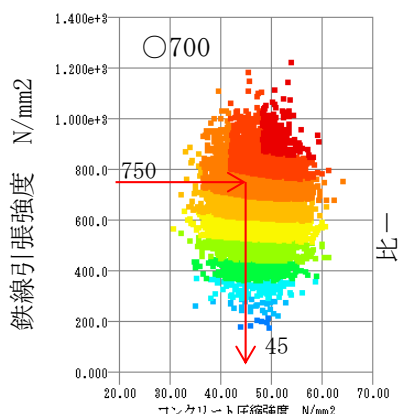


図 6.2 コンクリート圧縮強度と鉄線引張強度に対する曲げ耐力の比

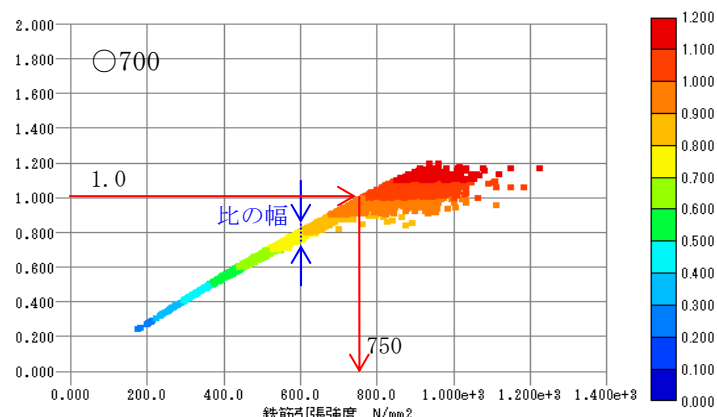


図 6.3 サンプルした鉄線引張強度に対する破壊保証モーメントと曲げ耐力の比

○1000 複鉄筋断面の計算結果を図 6.4 に示すが、コンクリート圧縮強度より鉄線引張強度に依存しており、コンクリート圧縮強度 40 N/mm² で鉄線引張強度を 520N/mm² の材料を使用する必要がある。図 6.5 の鉄線の引張強度に対する比の幅は、コンクリート圧縮強度によるものを表しており、コンクリート圧縮強度を変化させても部材断面の性能の変化は少ないことを表している。

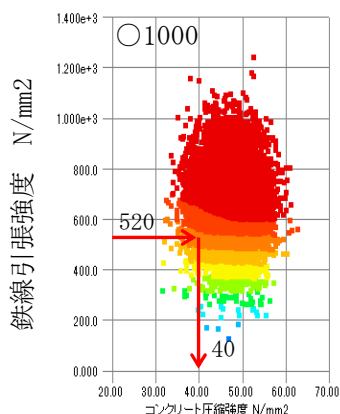


図 6.4 コンクリート圧縮強度と鉄筋引張強度に対する曲げ耐力の比

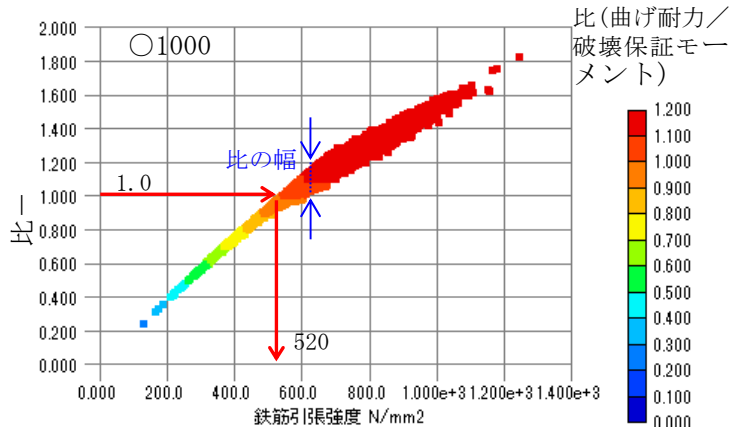


図 6.5 サンプルした鉄線引張強度に対する破壊保証モーメントと曲げ耐力の比

7. まとめ

経年管の既設管耐力を知るための 1 つの方法としてファイバー要素を用いて推定する方法を示した。しかし、この方法では、配筋仕様や材料のコンクリート圧縮強度、鉄線引張強度だけでなく、応力-ひずみ曲線が必要となる。また、鉄線引張強度は幅広い分布を示すため、サンプリングの数も問題となる。