

建築における緊張管理に関する一考察

—緊張データの分析から得られたもの—

建築本部

浜戸昇

大阪支店

PC 建築部（九州支店駐在）

吉永健治

1. はじめに

建築における緊張管理として採用されている「伸び管理」において、緊張計算に必要な仮定値（ μ 、 λ 、 E_p ）の構造計算仮定値との整合性、管理限界値（現状、 $\pm 5\%$ ）の妥当性、設計で求められる確実なプレストレス導入の保証などについて、現在、明解に説明することが困難な状況にある。「伸び管理」において、緊張作業が正常とみなせる範囲に計測値のばらつきを管理することはできても、それが設計で必要とするプレストレス力を直接的に保証するものとはなっていない。

設計と施工とを整合させるためには、伸び管理におけるばらつきが導入プレストレス力の変動にどのように影響を及ぼすのか適切に評価して設計に反映させる必要がある。

本報では、数多くの緊張データを分析した結果として、緊張計算において最も適合性のある計算仮定値を導き出すとともに、そのばらつきを適切に評価して正常な緊張作業とみなせる管理限界値を設定する。さらに、そのようなばらつきをもつ導入プレストレス力を前提として、設計上の安全を保證するためにはどのような配慮が必要か示すものとする。

2. 緊張データの調査・分析

2.1 九州支店における緊張データの調査・分析

緊張計算に用いられる各係数の適正值、誤差の分布性状を把握することを目的として、九州支店における緊張管理の実績データの調査を行った。調査の対象は、ポストテンション方式グラウト工法のマルチストランドケーブルで定着工法はVSL工法である。調査は14物件 70 グループ 399本のPCケーブルについて行った。調査の詳細についてはプレレストコンクリート工学会誌プレレストコンクリート Vol.58, No.4の研究報告を参照されたい。

九州支店における調査分析では、過去の研究や分析内容を吟味した結果、見掛けのヤング係数を $E_p = 192\text{kN/mm}^2$ とし、単位長さあたりの平均角度変化量（以降、角度変化率と記す）を指標として見掛けの摩擦係数の分布を求めた。各グループの摩擦係数の平均値の分布を図-1に示す。

図-1内に示す近似直線は、グループ内のケーブル数が6本以上のグループの平均値に対する近似直線であり、この程度のケーブル数があれば、ランダム誤差の影響は少ないものと考えられる。この直線式は $y = \mu x + \lambda$ を意味しており、傾きが μ 、切片が λ で表される。分布範囲をこの近似直線と並行の直線範囲と捉えたと、見掛け上は μ が一定で全ての誤差が λ に集約された誤差分布を考えることができる。6本以上のグ

ループの平均値から求められた見掛けの摩擦係数の値は、概ね $\mu = 0.15$ 、 $\lambda = 0.0025$ であり、 λ の 3σ の分布範囲は $\lambda = -0.0022 \sim 0.0072$ であった。

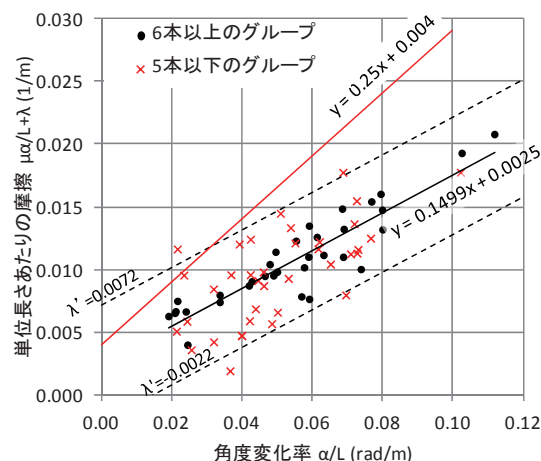


図-1 摩擦係数の分布（九州支店データ）

図-1で得られた $E_p = 192\text{kN/mm}^2$ に対応する $\mu = 0.1499$ 、 $\lambda = 0.0025$ を用いて緊張計算を行った場合の計算伸び量に対する実測伸び量の関係を図-2のヒストグラムに示す。計算伸びに対する 3σ の分布は 6.57% であった。

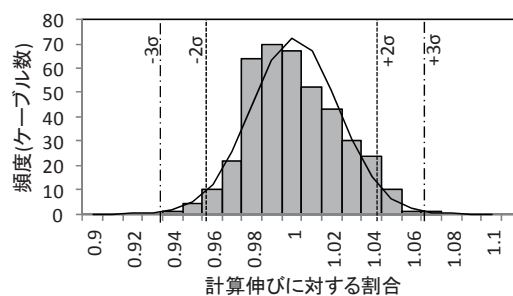


図-2 計算伸び量と実測伸び量の関係（九州支店）

2.2 全社の緊張データの追加調査・分析

九州支店の調査・分析結果を踏まえて、他の3支店の追加調査・分析を行った。収集データは図-3に示すように、九州支店のデータの分布に比べてバラエティに富んだものとなっている。4支店の6本以上のグループの平均値から求められた見掛けの摩擦係数の値は、概ね $\mu = 0.146$ 、 $\lambda = 0.0024$ であり、 λ の 3σ の分布範囲は $\lambda = -0.0030 \sim 0.0077$ であった。

また、 $\mu = 0.15$ 、 $\lambda = 0.0024$ を用いてPCケーブルの配線形状を考慮して緊張計算を行った場合の計算伸び量に対する実測伸び量の関係を図-5のヒストグラムに示す。

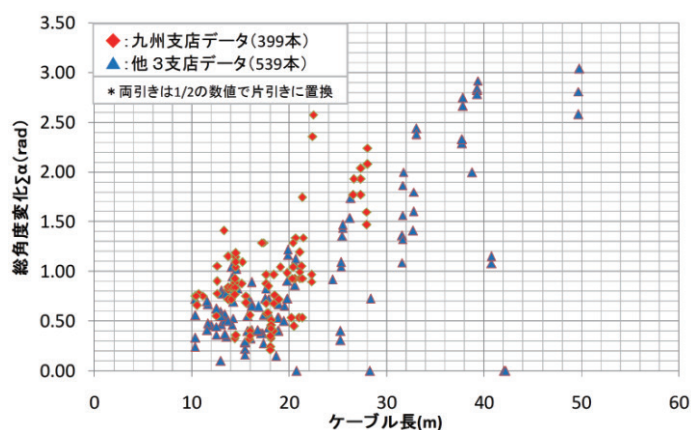


図-3 全国収集データの分布

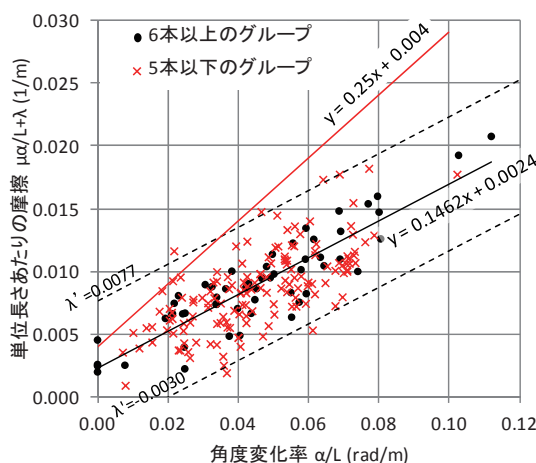


図-4 摩擦係数の分布 (全4支店データ)

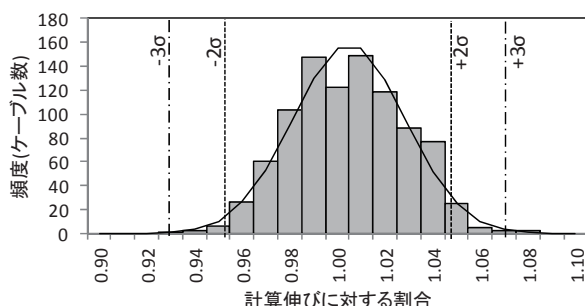


図-5 計算伸び量と実測伸び量の関係 (全4支店)

3. 緊張実績から得られた適正な計算仮定値

九州支店のデータ分析の結果と全4支店のデータ分析の結果で、推定される計算仮定値にわずかな差異がみられる。これは、4支店のデータの多様性に起因するものと思われる。これらの計算仮定値は、配線形状特性、施工精度、使用シース径(空隙率)・材質などにより変動すること考えられる。しかしながら、通常の建築の緊張管理において、それらを細かく検討することは不可能である。今回得られた平均的な値として下記の仮定値を用いて緊張計算すれば、伸び管理の基準伸び量として妥当な値が得られると考える。

$$\begin{aligned}\mu &= 0.15/\text{rad} \\ \lambda &= 0.0025/\text{m} \\ E_p &= 192\text{kN}/\text{mm}^2\end{aligned}$$

4. 緊張管理手法と管理限界値の提案

部材の設計に用いるプレストレス力は部材に配置される複数のPCケーブルから決定されているが、その配線形状は一部材内においても多種多様である。また、建築部材の場合には複数ある設計断面の内どの断面がクリティカル断面なのか判別することが困難であり、そこには不静定力の影響もある。このような観点から、建築における緊張管理には μ 管理は不向きであり、「伸び管理」が適している。

実測伸び量と計算仮定値の関係から、実態に近い計算仮定値を用いて計算することを前提として、計算伸びに対する 3σ の分布をみると、管理限界値として $\pm 7\%$ 管理が可能と推定される。ただし、管理限界値を広げると異常を見逃す確率が大きくなるため、従来通り $\pm 5\%$ 管理を行い、これから外れるものについては異常の有無を確認すべきである。この $\pm 5\%$ は概ね 2σ に相当し、実態に近い計算仮定値を用いても管理限界値を超えるものが5%の確率で存在することを理解したうえで、異常の有無と照らし合わせ適切な判断を行う必要がある。

5. 設計上必要な配慮事項と残された課題

伸び管理の緊張計算の仮定値(μ , λ)が構造計算の仮定値と異なると、実際に導入されるプレストレス力が構造計算結果と整合しなくなる。また管理限界内のばらつきの要因として μ や λ の変動も考えられる。この変動は正常な緊張が行えたとしても起こりうるものであり、変動を見越して設計する必要がある。とくに累積角度変化が大きい場合やPCケーブル長が大きい場合には、わずかな μ , λ の変動が導入プレストレス力に大きく影響する。単に、導入プレストレス力の不足に対して配慮するだけでなく、過大な導入がどのような影響を及ぼすのか慎重に見極める必要がある。従来 $\mu=0.25$, $\lambda=0.004$ で構造計算してきたことからすると、累積角度変化が大きい部位や緊張端より大きく離れた部位においては明らかに過大なプレストレス導入が行われてきた可能性がある。

建築の構造設計においては、プレストレスによる不静定応力をできるだけ正確に計算する必要がある。そのためには、計算仮定値(μ , λ)は実態に近い値を用いることが必要となる。設計上安全な導入プレストレス力を担保するには、構造計算でどのような計算仮定値(μ , λ)を用いるべきか、構造設計手法の側から今後検討していく必要がある。

それ以外に、今回の調査・分析の中で問題となったのが、PC鋼材のシース内偏心の影響が大きいこと、施工上のPCケーブルの配置精度との関係からシース内偏心をどのように扱うべきか課題として残された。

Key Words: 緊張管理, 摩擦係数, 見掛けのヤング係数



浜戸昇



吉永健治