

資料-2 プレストレス導入力（緊張）管理方法

1) 緊張管理において行われていること

- ① 所定のプレストレスを導入したという判断を下すこと。
- ② 緊張作業が安定していることを確認すること。

緊張管理では上記2点を行うことで、部材全体として所定のプレストレスが導入された事を保証している。

①はケーブル1本毎の緊張管理である。

一般に、摩擦係数をパラメータとして、ケーブル緊張端での荷重示度と鋼材伸びの関係を予め計算しておくことで、1本のケーブルに対する緊張作業を終了させるポイント（引き止め点）を決定することができる。

②は複数ケーブルのグループに対する管理であり、緊張作業工程に関する管理である。

緊張作業が作業工程として安定していることが示される場合にのみ、①の管理の前提となる、設計での仮定、材料や緊張機器の状態、それまでの製作プロセス、作業内容などが正常であると判定される。

このグループ管理には、取扱う測定値に種々の要因による“バラツキ”が影響するため、“バラツキ”の範囲の限界を定量的、客観的に取り扱うための統計的手法が導入されている。

2) 緊張管理への統計的手法の導入

i) 統計的方法の概念

統計的品質管理の手法は、アメリカで発案され、1950年代に日本に普及し始めた。統計的手法とは、図2.1のように標本（サンプル）によって母集団の結論を引き出す方法であり、不良品が発生する前に良品ができるよう母集団を管理する目的で用いられている。品質のバラツキを統計的推察によって管理することが基本的な考えである。

品質のバラツキは多数の微小要因の総和として生じ、品質はバラツキにより常に変動している。しかし、このバラツキの分布は図2.2のように正規分布することが統計学において明らかになっており、緊張管理は、これを応用した品質管理が行われている。

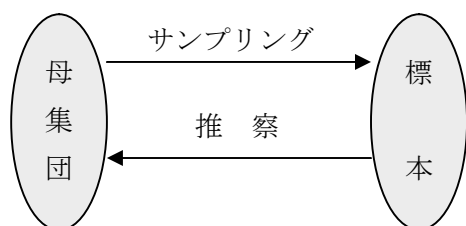


図 2.1 統計的手法

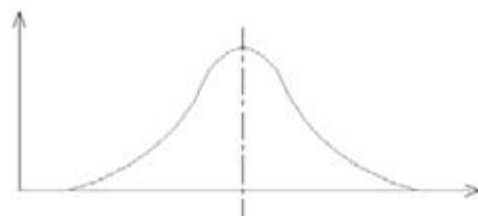


図 2.2 正規分布

製品の品質管理において製品の数が多い場合に、全数検査による品質管理が不可能であるような場合、製品から一部を取り出してそのデータによって製品全体の性質を推測する統計的手法がとられている。

ii) 緊張管理への統計的手法の導入

PC 橋の緊張管理においても、以下に示す理由により統計的手法が導入されている。

- ① 緊張管理において使用するデータが、バラツキを含んでいること。
- ② 全ての緊張作業終了後において、所定のプレストレスが導入されたか否かの簡便で確実な検査手法が現状確立していないこと。
- ③ 仮に全ての緊張作業が終了した段階で不良品が発生したとしても再緊張が簡単にはできない場合があること。

3) 緊張管理について

i) バラツキ

i-1) バラツキを与える原因の大別

- ① 偶然原因（不可避的）：技術的、経済的に排除できない原因
- ② 異常原因（可避的）：故障や誤り等排除可能な原因

品質管理の統計的手法においては、偶然原因によるバラツキが安定している状態では製造が順調に行われているものと判断し、異常原因によるバラツキが発生した場合には即座に検出し修正することを目的としている。

i-2) 緊張の際に考えられる偶然原因によるバラツキ

緊張に際しては、標準偏差で 5% 程度の偶然原因によるバラツキは避けられない。個々のバラツキとしては、以下に示すようなことがある。

- ① PC 鋼材とシーソ間の摩擦のバラツキ
- ② 引張装置、定着具における摩擦のバラツキ
- ③ PC 鋼材の見かけのヤング係数の摩擦のバラツキ
- ④ 測定値の読み取り誤差
- ⑤ 荷重計の誤差
- ⑥ その他の誤差

ii) 緊張管理における統計量

緊張管理において、簡単に直接計測可能な統計量として、荷重計示度と PC 鋼材伸び量を採用している。

- ・ 緊張端の荷重計示度
- ・ PC 鋼材伸び量

緊張作業が計算で仮定した条件のもとに行われた場合には、計算で求めた荷重計示度まで PC 鋼材を緊張することによって、計算で求めた伸び量が得られるはずである。実際には種々の原因によってバラツキが生じるため、このバラツキの状態を統計的に管理することとしている。

iii) ケーブル 1 本毎の管理

目的 : 1 本のケーブルに対して、所定のプレストレスを導入すること

多数の同一形状ケーブルを緊張しても、誤差要因によって圧力計示度-伸び量の関係は、図 2.3 のように同じとはならない。しかし、偶然原因によるバラツキは排除できないことから、想定したバラツキの範囲内において荷重計示度と伸び量の測定値の軌跡がある傾きの時に、図 2.4 に示すようにどこで引き止めるにするかという領域をあらかじめ決めておき、バラツキが生じても 1 本のケーブルに導入されるプレストレスが不足することのないよう管理を行っている。

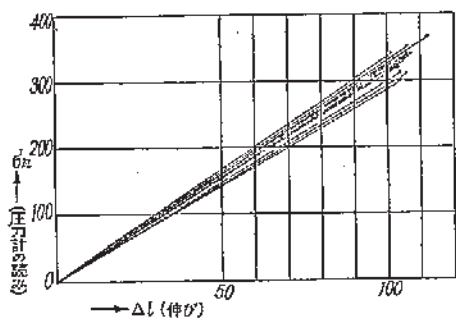


図 2.3 圧力計示度-伸び量の関係

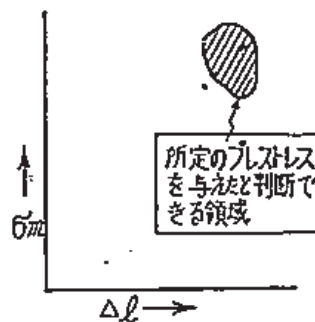


図 2.4 測定値の軌跡

管理限界： $\dot{\mu}$ の平均値 $\pm 2\sigma$

図 2.5 に示すようなケーブル 1 本毎の緊張管理図における $\pm 2\sigma$ の範囲は、図 2.6 に示す摩擦係数が大きい場合と小さい場合における領域を意味する。

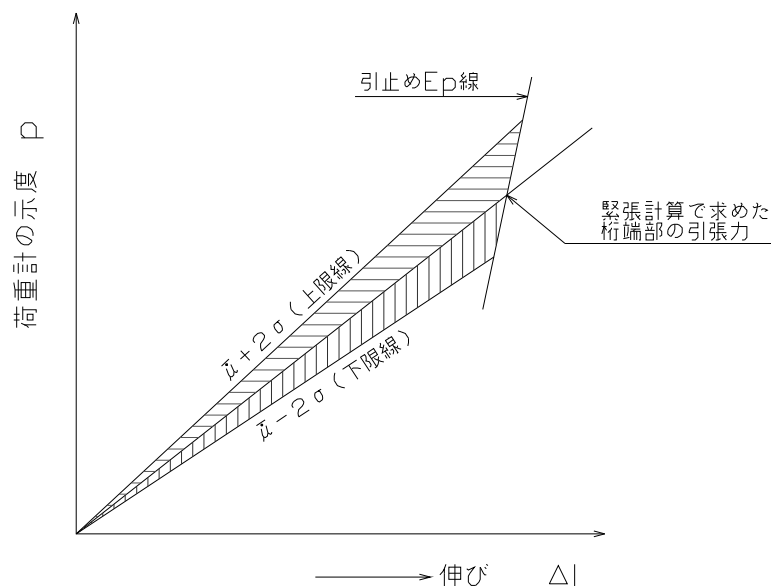


図 2.5 ケーブル 1 本毎の緊張管理図

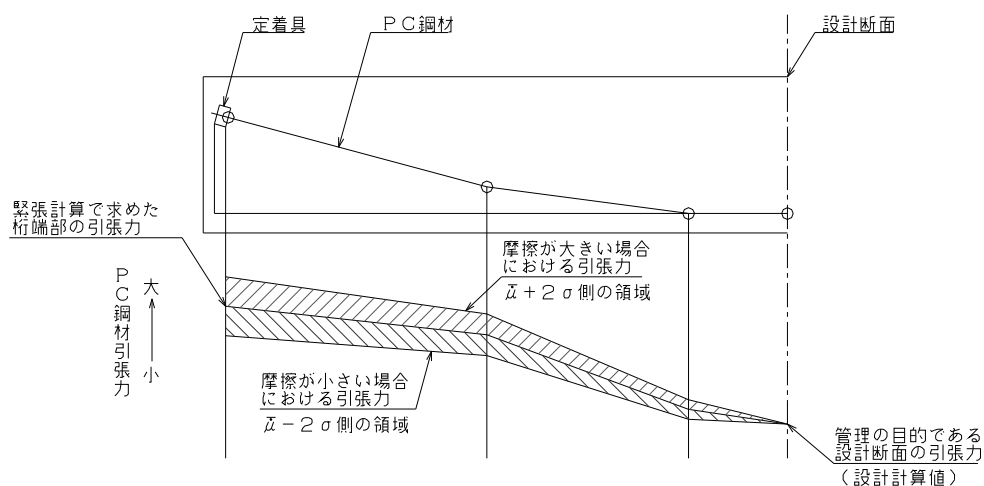


図 2.6 摩擦係数の大小による鋼材応力度の分布

iv) グループ管理

目的：緊張作業が異常なく安定した状態で行われていることを管理すること

緊張作業が安定した状態で行われている場合には、図 2.7 に示すように、測定値は管理限界内であって中心値のまわりに多く集まっているとともに適当に分散した状態となる。一方、故障等の異常が発生すると測定値はランダムではない傾向を示す。この場合には、原因を追及し異常原因が入らないように管理を行っている。

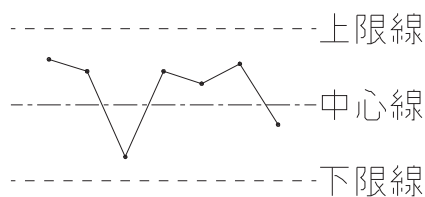


図 2.7 管理図

管理限界： $\dot{\mu}$ の平均値 $\pm 2\sigma / \sqrt{n}$ n ：本数

[補足]

平均値 $\pm 2\sigma$ の範囲

- ① 偶然原因によるバラツキしか発生せず安定した状態において、確率として 95% の測定値が含まれる範囲
- ② 偶然原因によるバラツキしか発生せず安定した状態においても、5% の確率で範囲外となる範囲

正規分布の性質

正規分布曲線は、図 2.8 に示すように平均値と標準偏差 σ によって完全に決まる関数（確率密度関数）であり、以下に示すような性質がある。

- ① 平均値を中心として左右対称である
- ② 曲線に囲まれる面積は 1 である
- ③ 平均値 $\pm \sigma$ の区間は、全面積の約 68%（区間外面積約 32%）
平均値 $\pm 2\sigma$ の区間は、全面積の約 95%（区間外面積約 5%）
平均値 $\pm 3\sigma$ の区間は、全面積の約 99.7%（区間外面積約 0.3%）

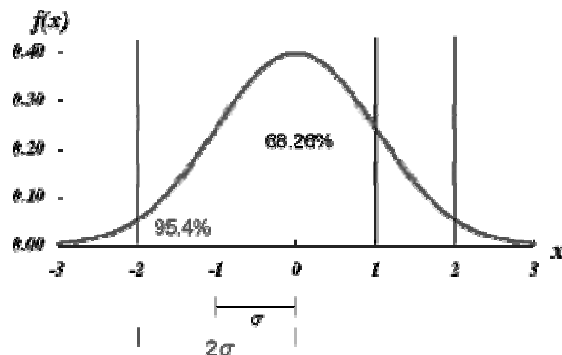


図 2.8 正規分布曲線

4) PC 鋼材の緊張管理について

緊張管理手法

荷重計の示度およびPC鋼材の伸び量により緊張管理を行う実務的な手法として以下の2通りの方法がある。

- ① 摩擦係数をパラメータとして管理する方法
- ② 引張力と伸びを独立して管理する方法

これらの2つの管理手法は、主として部材に配置されるPC鋼材の本数の程度によって、表2-1のように使い分けられる。

用語の説明

i) μ および λ と $\dot{\mu}$

μ : 設計計算上で使用する、角変化1ラジアンあたりの摩擦係数

λ : " PC鋼材の長さ1mあたりの摩擦係数

$\dot{\mu}$: 試験緊張により求まる、PC鋼材の摩擦係数 (角変化+長さ)

ii) PC鋼材の見かけのヤング係数

緊張計算に用いるPC鋼材のヤング係数は、PC鋼材の拔出し量から引張力を求めるために使用する。PC鋼材の拔出し量は、PC鋼材の弾性伸びが関係するばかりでなく、部材の短縮やシース内におけるPC鋼材の鉛直方向移動なども影響し、PC鋼材の材料試験表から求められるヤング係数よりかなり低い値を示す。よって、材料試験表から求められるヤング係数と区別するため、「見かけの」ヤング係数と呼んでいる。

表 2.1 緊張管理手法の使い分け(その1)

	方法1：摩擦係数をパラメータとする管理手法	方法2：引張力と伸びを独立して管理する手法
1. 適用範囲 1) 適用範囲	<p>1) 主方向に内ケーブル方式のPC鋼線、PC鋼より線を使用する場合。</p> <p>① 1つの部材に配置されているPC鋼材本数が少なく、形状変化が大きく、比較的に大容量ケーブルを使用する場合 例：一般的なPC橋の主方向の緊張管理に採用</p>	<p>1) PC鋼棒を採用する場合。</p> <p>① 主方向・横方向を問わずPC鋼棒を採用する場合 ② 1つの部材に配置されているPC鋼材本数が多い場合 例：ディビダーク工法張出架設桁橋</p> <p>2) 以下のようなPC鋼線、PC鋼より線を採用する場合。</p> <p>① 床版横締めや横桁横締めのように配置形状がほぼ直線に近く、比較的小型のPCケーブルを多数配置する場合。 ② 主方向に外ケーブル方式を採用する場合。</p>
2) 適用理由	<p>1) 主方向に採用する場合、摩擦による影響が大きいため、摩擦係数をパラメータとした手法を用いる。</p> <p>① 主方向PC鋼材は、曲げ上げ、曲げ下げの角度が大きいため、摩擦による影響が支配的となる。</p> <p>② 曲線区間・直線区間では、それぞれの区間で摩擦係数が異なり与えた緊張力から単に伸びが求められないため、緊張力と伸びだけの管理手法では、大きな誤差が生じやすい。</p> <p>2) 実用性を考慮 主方向PC鋼材は、鋼材本数が少ないため、摩擦による管理が可能となる。</p> <p>3) 鋼材本数が少なく偶然誤差がそのままプレストレスの誤差になってしまうため、緊張管理に支配的な摩擦誤差を少なくできる。</p>	<p>1) 摩擦による影響が小さいため、摩擦係数をパラメータとする管理手法は不向きと考えられる。</p> <p>① PC鋼棒： 曲げ半径が大きく直線に近い場合、摩擦の影響が少ない。また、打撃を与えることにより摩擦が減ってしまう。</p> <p>② 横方向PC鋼材： 直線形状に近く、また鋼材長が比較的小さいため摩擦の影響が少ない。そのため、方法1の管理手法では管理眼界が狭く、実際の緊張管理に支障を及ぼす。</p> <p>2) 鋼材本数が多いため実用性を重視し、緊張力と伸びによる管理手法で問題ない。</p> <p>① PC鋼棒： 直線形状に近く、伸びが比較的正确に測定できる。またプレストレスの計算が容易である。</p> <p>② 横方向PC鋼材： 鋼材本数が多いため、摩擦による管理手法では繁雑と考えられる。</p> <p>3) バラツキ（偶然誤差）がある場合でも鋼材本数が多いため、荷重計示度、伸びの両者とも計算値より小さくならない点まで緊張しておけばプレストレスが不足する確率を小さくできる。</p>
2. 管理手法の概要 1) 概要	<p>少数のPC鋼材が曲線形状に配置されている場合は、摩擦係数をパラメータとした管理方法で1本ごとの管理グラフを作成し緊張管理を行う。また、1本ごとの管理だけでは誤差を発見することが困難なため、PC鋼材をグループごとに管理し、ばらつきの影響を小さくするグループの管理も併用する。</p>	<p>比較的に小型のPC鋼材が用いられ、直線形状に近い形状で鋼材本数が多く配置されている場合は、実用性を考慮して荷重計の示度とPC鋼材の伸びを独立する緊張管理を行う。また、摩擦係数により管理する方法と同様にPC鋼材1本ごとの管理の他にグループごとの管理を行う。</p>
2) 管理手法	<p>試験緊張などによって求めた見かけのヤング係数を用いて、摩擦係数μの任意二つの値(μ_Aおよびμ_B)について緊張計算を行い、この計算結果をそれぞれAおよびBとする。見かけのヤング係数が正しい場合には、ABを引止め線とする方法。</p> 	<p>あらかじめ、図に示す点A(座標$p_0, \Delta l_0$)を計算で求めておき、緊張作業に当たっては、図のハッチした部分を引留め範囲とする方法。</p> 

表 2.2 緊張管理手法の使い分け(その2)

	方法1：摩擦係数をパラメータとする管理手法	方法2：引張力と伸びを独立して管理する手法																						
3. 緊張管理の手順 1) 緊張管理の手順	<p>本管理手法の場合、緊張管理の手順を以下に示す。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 試験緊張の実施 配置形状の異なる4本以上試験緊張より、摩擦係数μおよび見かけのヤング係数E_pを算出し、摩擦係数の管理限界(2σ)を設定する。 ② 緊張計算の実施 E_pを用い、μの特定の値(例：$\mu=0.2$と$\mu=0.4$)について緊張管理を行い、示度計の読みと伸び量を計算する。 ③ 緊張管理図の作成 緊張前に「引止め線」、「管理限界」を記入した管理図を作成する。 ④ 緊張作業の実施 管理図を用いて緊張管理を実施。管理限界に収まっていることを確認する。 ⑤ 摩擦係数の管理 PC鋼材1本ごととグループによる管理を行う。また必要に応じ、管理限界の修正を行う。 	<p>本管理手法の場合、緊張管理の手順を以下に示す。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 試験緊張は一般的に行わない。 ② 緊張計算の実施 道示Ⅲ 表-解 19.8.3 のμ、λおよびE_pの値を用い、示度計の読みと伸び量を計算する。 ③ 緊張管理図の作成 緊張前に「示度計」と「伸び」の最小値を示した管理値を記入した管理図を作成する。 ④ 緊張作業の実施 管理図を用いて緊張管理を実施。「示度計」と「伸び」が不足しないように緊張する。 ⑤ 摩擦係数の管理 PC鋼材1本ごととグループによる管理を行う。また必要に応じ、管理限界の修正を行う。 																						
2) 管理限界値の計算	<p>本緊張管理の場合、PC鋼材の見かけのヤング係数および摩擦係数の確認は重要であり、試験緊張によって求めることが原則である。試験緊張の測定結果より、摩擦係数μおよびPC鋼材の見かけのヤング係数E_pを算出する。</p> <p>施工実績が多いポストのように十分な試験データがある場合は、その値を使用してもよい。また、片引き緊張を行う設計で試験緊張が困難な場合は、道示Ⅲ 表-解 19.8.3 に従い、以下の値を用いてよい。</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>μ</th> <th>λ</th> <th>E_p (kN/mm²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PC鋼線</td> <td>0.30</td> <td>0.004</td> <td>195</td> </tr> <tr> <td>PC鋼より線</td> <td>0.30</td> <td>0.004</td> <td>185</td> </tr> <tr> <td>PC鋼棒</td> <td>0.30</td> <td>0.003</td> <td>200</td> </tr> </tbody> </table>		μ	λ	E_p (kN/mm ²)	PC鋼線	0.30	0.004	195	PC鋼より線	0.30	0.004	185	PC鋼棒	0.30	0.003	200	<p>本緊張管理の場合、見かけのヤング係数および摩擦係数は、摩擦係数をパラメータとする管理手法と同じく、道示Ⅲ 表-解 19.8.3 の値を用いる。</p>						
	μ	λ	E_p (kN/mm ²)																					
PC鋼線	0.30	0.004	195																					
PC鋼より線	0.30	0.004	185																					
PC鋼棒	0.30	0.003	200																					
3) 管理限界	<p>摩擦係数μの管理限界の計算を2σ法により行う。この限界値は、PC鋼材1本ごと、およびPC鋼材グループ毎に対して算出する。ヤング係数E_pの測定平均値は、母集団の標準偏差が未知数であるため、t分布すると考えて算出する。</p>	<p>1本ごとおよび1グループごとの許容誤差は、以下に示す許容誤差の標準値によるものとする。</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>1本のPC鋼材本数</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>許容誤差の標準値 (%)</td> <td>10</td> <td>7.1</td> <td>5.8</td> <td>5.0</td> <td>4.5</td> <td>4.1</td> <td>3.8</td> <td>3.6</td> <td>3.3</td> <td>3.2</td> </tr> </tbody> </table> <p>(コンクリート道路橋施工便覧 H10年1月表-8.18より)</p>	1本のPC鋼材本数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	許容誤差の標準値 (%)	10	7.1	5.8	5.0	4.5	4.1	3.8	3.6	3.3	3.2
1本のPC鋼材本数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10														
許容誤差の標準値 (%)	10	7.1	5.8	5.0	4.5	4.1	3.8	3.6	3.3	3.2														
4) 異常時に対処	<p>緊張管理図は、プレストレスングに関する種々の作業工程が正常であるかどうか客観的に判断するための資料である。従って、緊張管理図を品質管理のための管理図として役立つように、異常が発生した場合原因究明と対策を講じる必要が生じてくる。</p> <p>対処方法は、『コンクリート道路橋施工便覧』H10.1(社)日本道路協会 8.6.3.5にしたがい、管理図の傾向を確認しながら誤差が生じる原因を究明する。</p>	<p>1本ごとの誤差δが10%を超えた場合、以下の順番でその原因を確かめることが重要である。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 作業をやり直し10%以内とする ② ジャッキのキャリブレーションを行い、作業手順の確認を行う。 ③ 摩擦係数及び見かけのヤング係数の測定を行う。 																						
5) 管理限界の修正	<p>以下のような場合、管理限界を修正した方が望ましい。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 試験緊張を行わないで管理限界を設定した場合、10以上のデータが得られた時点で修正する。 ② 試験緊張を行った場合でも、異常と判断された場合、それまでのデータに基づいて修正する。 ③ いくつかのデータを採取し、データの中心線と管理限界線との幅の1/2の範囲にほとんど人ってきた場合。 																							