

プレストレスングの管理 (2)

野 口 功*

3. プレストレスングの管理の手順

(1) 緊張作業の前に行なわなければならない作業

工場製品の小さな部品のような場合には、製造をはじめから、ばらつきが安定しない状態で作られた製品は捨てて、ばらつきが安定しうようになってからの製品のみを販売するという事も可能である場合がある。しかし、PC 部材の管理においては、工事開始時期における何本かの部材をばらつきが安定していないという理由で廃却することは経済的にも許されないし、また実際にそこまで行なう必要がないのであるが、それだけに工事開始時期から、安定したばらつきになるように、緊張作業前の準備が必要である。すなわち工事開始前に考えられる故障原因をのぞいておかななければならない。このためには次のような作業を必要とするのである。

a) 荷重計のキャリブレーション 荷重計の指度が正しいことは、正しいプレストレスを与えるうえに絶対必要な事からであるので、この作業はぜひ行なわなければならない。荷重計のキャリブレーションは本来、荷重計の指度と、実際の緊張力との間のキャリブレーションを行なわなければならないものである。このためにはジャッキと PC 部材の間にロードセル、あるいはダイナモメーターをそう入して、直接 PC ケーブルに与えられる緊張力を検定しなければならないのであるが、現場の管理の上からいって、このような精密な機械を現場で使用することは実用的でない場合もあるので、現場におけるキャリブレーションとしては、普通は圧力計そのもののキャリブレーションを行なえば十分であろう。圧力計のキャリブレーションには一般に双針式の標準圧力計を使用する。キャリブレーションの方法は、使用する圧力計と標準の圧力計を並列に取りつけ圧力をかけて、おのおの針が等しい指度を示すことを確かめればよい。

この場合、等しい指度を示さない圧力計は狂っているので、圧力計を取りかえる必要がある。また圧力計で圧力が0になっても0を指示しないもの、針の動きが漸続的なものは故障しているか、あるいは故障しかかっている

ものであるから使用してはならない。

使用する圧力計は、そのジャッキの能力に合ったものを使用する必要がある。例えば非常に高圧まで測定できる圧力計を使用して、その能力よりかなり低い圧力の測定に使用することは、圧力測定の誤差を非常に大きくするので注意する必要がある。

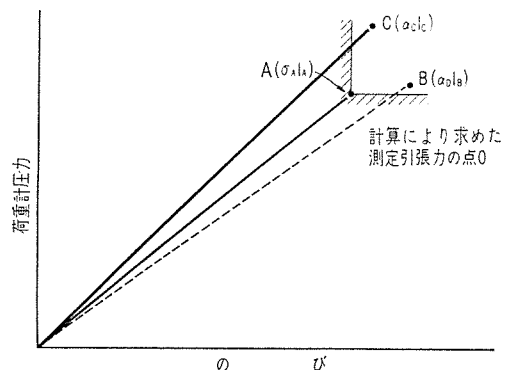
b) 摩擦測定試験 設計で考えた PC 鋼材とシースの間の摩擦係数は、計算上の便宜のために仮定した数値であるので、現場における摩擦係数を現わすものではない。したがってその現場における数本ないし十数本の PC ケーブルについて摩擦係数を求める。摩擦係数の測定方法は、多くの本に記されているので、その方法によって求めるのがよい。摩擦係数測定の際に PC ケーブルの伸び量を測定することは非常に大切である。なぜかという、PC 鋼材ののび量は単純に PC 鋼材のヤング係数によって決まるものではなく、先にものべたように、のび量には PC 鋼材の弾性変形以外の要素が加わって、見掛けのヤング係数が低下する傾向があるからであり、その現場における PC 鋼材の見掛けのヤング係数を知っておくことが必要である。PC 鋼材のヤング係数は $2.05 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 程度であるが、見掛けのヤング係数は、ケーブルの配置の形状、等によって $1.90 \sim 2.00 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 程度になることが多い。

(2) 緊張計算図の作製、各ケーブルの引止め

[方法 1]

摩擦測定試験の結果、摩擦係数 μ (ケーブル角変化、1 ラジアンあたりの摩擦損失)、 λ (ケーブル長さ 1 m あたりの摩擦損失)、 r (定着具およびジャッキ内の摩擦損失、および PC 鋼材の見掛けのヤング係数 E_p) が求まったならば、これらの値を使用して緊張計算書を作り、各ケーブルについて所定ののびおよび荷重計圧力を求めて、緊張図を作成する (緊張計算については一般の本にくわしく述べられているので省略する)。この場合、摩擦測定試験の結果から、 μ および λ を最小自乗法によって求めるかわりに $\lambda/\mu = 0.0133$ と仮定して μ の値を求

図-6



めてもよい。

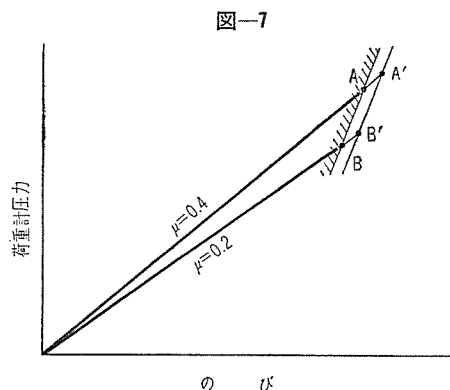
緊張にあたっては計算によって求めたジャッキ圧力 σ_A およびのび l_A のいずれも不足しないように引き止めの値を決める。すなわち緊張作業をしながら、のびと圧力の関係をプロットしてゆき図-6のハッチした線に達してから引き止めとする。このように圧力およびのびの両方が緊張計算の値より小さくならない点まで緊張しておけば、プレストレスが不足する確率は小さくなる。この考え方は前回の図-5に示したある面積をもったばらつきを、摩擦係数の測定、見掛けのヤング係数の測定によって一つの平均的な点 A におきかえたもので、ハッチした線に達してから引き止めにするのは、ハッチ内の部分の E_p と μ の組み合わせに対してのみプレストレスが不足することになり、プレストレスが不足する可能性は4象元のうち1象元、すなわち4回に1回程度だけプレストレスが不足する可能性が残されているので、数本ないし十数本のケーブルよりなる部材について考えれば全体としてプレストレスが不足する可能性が非常に少なくなるということができる。

実際の緊張では、のび測定の0点はある程度緊張力を与えた点で取るので、あとから0点補正をしなければならない。そこで図-6の緊張計算図をトレーシングペーパーに書いておき、縮尺の等しいグラフで緊張点をプロットし、引き止めまでに数点をプロットしておけば、ただちに0点補正ができるので、補正した0点に緊張図の0点をあわせて重ね合わせ、引き止め点を決めればよい。この場合、緊張中の各点が直線にならないと、補正量に大きな誤差が生ずることになるほか、直線にならないこと自体が、なんらかの異常のあることを示すものであるから、このような場合には、作業をやり直すようにしなければならない。

図-6におけるOA線と、OB線もしくはOC線がある程度以上の開きを生じた場合には何かの異常がある場合である。土木学会のPC指針20条の規定によって、 $\frac{l_C - l_A}{l_A} - \frac{\sigma_C - \sigma_A}{\sigma_A}$ または $\frac{l_B - l_A}{l_A} - \frac{\sigma_B - \sigma_A}{\sigma_A}$ の値が10%以上になったならば、作業をやり直し、10%以内におさまるようにする必要がある。作業をやり直しても10%以内におさまらない場合にはジャッキのキャリブレーションを行ない、作業に間違いがないかを調べ、なお原因がわからない場合には、注意をしながら次のケーブルの緊張を行なう。次のケーブルも同様に10%以上の差を生じた場合には摩擦係数測定、見掛けのヤング係数測定等も行なって、その原因を確かめる必要がある。

[方法 2]

この方法においては、摩擦測定によって求めた見掛けのヤング係数を用い、摩擦係数については、 $\mu=0.4$, $\lambda=$



0.004 \times 0.4/0.3, $\mu=0.2$, $\lambda=0.004 \times 0.2/0.3$ (これは μ と λ の関係が、設計において計算する $\mu=0.3$, $\lambda=0.004$ の比 0.3/0.004 の関係をもつものと仮定している) の2種類について、圧力計の読みおよび、のびの関係を求める。

図-7において $\mu=0.4$ の場合の所定の緊張力をA点、 $\mu=0.2$ の場合の所定の緊張力をB点とすると、プレストレスの場合、A,B点を結ぶ直線が、それぞれの摩擦係数に相当する理論上の所定緊張力となる。[方法 1]において、面積を点におきかえたのに対し、この方法は面積を線におきかえたもので、理論的な取り扱い方としては、一歩進んだ方法ということができるのであろう。

しかし、まだ見掛けのヤング係数のばらつきは未知の因子として残されているので、もしあるPCケーブルの見掛けのヤング係数が、計算に用いたものより小さい場合には、緊張の際の圧力とのびの関係は実際の摩擦係数より小さい摩擦係数を示すようになり、プレストレスが不足する危険性が出てくる。見掛けのヤング係数のばらつきが推定できれば、そのばらつきの大きさをもとにして、摩擦試験で求めた見掛けのヤング係数の平均値より、ある値だけ低いヤング係数を想定してその分だけ図-7のA-B線より大きい伸びが出るよう引き止めの値を決めれば、確率的に妥当な引き止め位置を決めることができる。見掛けのヤング係数のばらつきの標準偏差(変動係数)は一般に5%程度であるから、実際には図-7 A-B線より3~5%程度大きいのびが得られるA'-B'線を引き止め線としてえらんでよい。

この方法においても1.の方法と同様、緊張の際の圧力-のび直線が示す μ の値があまりに異常な値を示す場合には作業をやり直す必要がある。1.の方法における10%の差に相当する μ の差は大体0.4に相当する。したがって摩擦測定において求めた μ の値と0.4以上の差を生じた場合には異常であると考えられる。例えば摩擦測定において求めた μ の値が0.3であったとすると、圧力-のび直線の示す μ の値が-0.1~0.7をはずれた場合には作業をやり直さなければならない。ここに μ が負

講 座

の値を示すのは一見奇異のようであるが、この μ の値には各種のばらつきの影響がはいつてくるので、この場合の μ の値は、必ずしも摩擦係数の μ を示すものではなく、負の値になったからといって摩擦係数が負になったわけではないから、負の値になったこと自体では特に異常とはいいい切れない。

(3) 管理図による管理

[方法 1]

緊張計算図の作製を [方法 1] によった場合は各ケーブルにおける理論上の緊張点 A (図-6) を一意的に求めているので、この点を基準として、実際にケーブルを緊張した場合の引き止め点 B との関係を求める。B 点における荷重計から推定される引張力とのびから推定される引張力との差 δ を%であらわすと次のようになる。

$$\delta = \frac{l_B - l_A}{l_A} - \frac{\sigma_B - \sigma_A}{\sigma_A}$$

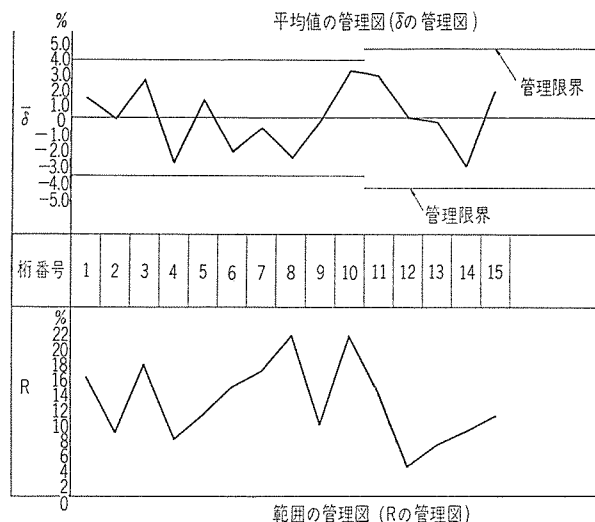
表-2 緊張データ

桁番号	1						2						3						4					
ケーブル番号	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
実測のび (mm)	135	133	138	129	131	132	133	131	128	114	136	141	136	139	132	125	138	132	132	138	125	115	135	135
計算のび (mm)	133	137	129	113	131	135	133	137	129	113	131	135	133	137	129	113	131	135	133	137	129	113	131	135
差 % ①	1.5-2.9	7.0	14.2		0-2.2		0-4.4	-0.8	0.9	3.8	4.4		2.3	1.5	2.3	10.5	5.3-2.2		-0.8	0.7-3.1	1.8	3.1	0	
実測圧力 (kg/cm ²)	380	380	390	400	390	390	380	380	390	390	390	380	380	380	380	390	380	400	400	390	400	400	380	400
計算圧力 (kg/cm ²)	380	380	390	390	375	380	380	380	390	390	375	380	380	380	390	390	375	380	380	380	390	390	375	380
差 % ②	0	0	0	2.6	4.0	2.6	0	0	0	0	4.0	0	0	0	-2.6	0	1.3	5.3	5.3	2.6	2.6	2.6	1.3	5.3
δ (①-②)	1.5-2.9	7.0	11.6		-4-4.8		0-4.4	-0.8	0.9	-0.2	4.4		2.3	1.5	4.9	10.6	4.0-7.5		-6.1	-1.9-5.7	-0.8	1.8-5.3		
δ の桁ごとの平均 $\bar{\delta}$			1.4						-0.01						2.64						-3.0			
δ の範囲 R			16.4						8.8						18.1						7.9			
桁番号	5						6						7						8					
ケーブル番号	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
実測のび (mm)	132	137	139	120	132	136	133	137	135	116	132	128	145	133	131	113	131	131	135	132	129	121	131	122
計算のび (mm)	133	137	129	113	131	135	133	137	129	113	131	135	133	137	129	113	131	135	133	137	129	113	131	135
差 % ①	-0.8	0	7.8	6.2	0.8	0.7	0	0	4.7	2.7	0.8-5.2		9.0-2.8	1.6	0	0-2.9		1.5-3.7	0	7.1	0-9.7			
実測圧力 (kg/cm ²)	390	380	390	390	390	380	400	390	390	390	390	400	380	390	390	390	380	400	380	380	400	390	390	400
計算圧力 (kg/cm ²)	380	380	390	390	375	380	380	380	390	390	375	380	380	380	390	390	375	380	380	380	390	390	375	380
差 % ②	2.6	0	0	0	4.0	0	5.3	2.6	0	0	4.0	5.3	0	2.6	0	0	1.3	5.3	0	0	2.6	0	4.0	5.3
δ (①-②)	-3.4	0	7.8	6.2-3.2	0.7		-5.3-2.6	4.7	2.7-3.2	-10.5			9.0-5.4	1.6	0-1.3	-8.2		1.5-3.7-2.6	7.1-4.0-15.0					
δ の桁ごとの平均 $\bar{\delta}$			1.35						-2.37						-0.72					-2.78				
δ の範囲 R			11.2						15.2						17.2					22.1				
桁番号	9						10						11						12					
ケーブル番号	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
実測のび (mm)	135	132	133	115	128	128	139	131	131	133	135	140	143	135	136	115	136	145	132	138	130	118	136	138
計算のび (mm)	133	137	129	113	131	135	133	137	129	113	131	135	133	137	129	113	131	135	133	137	129	113	131	135
差 % ①	1.5-3.7	3.1	1.8-2.3	-5.2			4.5-4.4	1.6	17.7	3.1	3.7		7.5-1.5	5.4	1.8	3.8	1.4	-0.8	0.7	0	0.9	3.8	2.2	
実測圧力 (kg/cm ²)	380	380	390	390	390	380	380	390	390	380	380	380	380	400	390	390	380	380	380	390	390	390	390	380
計算圧力 (kg/cm ²)	380	380	390	390	375	380	380	380	390	390	375	380	380	380	390	390	375	380	380	380	390	390	375	380
差 % ②	0	0	0	0	4.0	0	0	2.6	0-2.6	1.3	0		0	5.3	0	0	1.3	0	0	2.6	0	0	4.0	0
δ (①-②)	1.5	3.7	3.1	1.8-6.3	-5.2		4.5-7.0	1.6	15.1	1.8	3.7		7.5-6.8	5.4	1.8	2.5	7.4	-0.8-1.9	0	0.9-0.2	2.2			
δ の桁ごとの平均 $\bar{\delta}$			-0.17						3.29						2.97					0.03				
δ の範囲 R			10.0						22.1						14.3					4.1				
桁番号	13						14						15						—					
ケーブル番号	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	—					
実測のび (mm)	139	140	128	113	126	135	133	140	129	113	132	130	130	142	131	121	135	145	—					
計算のび (mm)	133	137	129	113	131	135	133	137	129	113	131	135	135	140	130	113	132	135	—					
差 % ①	4.5	2.2-0.8		0-3.8	0		0	2.2	0	0	0.8-3.7		-3.7	1.4	0.8	7.1	2.3	7.4	—					
実測圧力 (kg/cm ²)	390	380	390	390	380	380	400	380	400	410	390	390	400	400	400	390	390	380	—					
計算圧力 (kg/cm ²)	380	380	390	390	375	380	380	380	390	390	375	380	390	400	395	390	380	380	—					
差 % ②	2.6	0	0	0	1.3	0	5.3	0	2.6	5.1	4.0	2.6	0	0	1.3	0	2.6	0	—					
δ (①-②)	1.9	2.2-0.8		0-5.1	0		-5.3	2.2-2.6	-5.1	-3.2	-6.3		-3.7	1.4-0.5	7.1	-0.3	7.4	—						
δ の桁ごとの平均 $\bar{\delta}$			-0.3						-3.4						1.90			—						
δ の範囲 R			7.1						8.5						11.1			—						

図-6のB点においては $\delta > 0$ で、のびから推定される引張力の方が大きい。C点は $\delta < 0$ で、圧力計から推定される引張力の方が大きい。

このようにして各ケーブルごとの δ の値を計算してゆく。表-2はそのデータの一例である。表-2の例では1本のPC部材に6本のPCケーブルを含んでいる場合であり、6本ごとを1つのグループとして、各グループごとに δ の平均値と、 δ の最大値と最少値の差を求めてある。そしてこれらの値を、図-8のように管理図にプロットしてゆく。

図-8 δ 管理法の管理図



工事開始当初においては、この現場のばらつきの母集団はわからないので、土木学会のPC指針第20条の規定によって管理限界を便宜的に決める。この値は表-3のようなものである。この例においては1本のPC部材に含まれるケーブル6本を1つのグループとするので、組の数は6であり、したがって平均値の管理限界は $\pm 4\%$ である。

表-3

組の数	許容誤差	組の数	許容誤差
1	$\pm 10\%$	6	$\pm 4\%$
4	$\pm 5\%$	10以上	$\pm 3\%$

ただ土木学会のPC指針の規定は一般に使用されている橋梁のPC桁における、ばらつきの大体の値を示すものであり、コンクリートの配合設計において、コンクリートの圧縮強度の割り増し係数を決めるため、従来の実績から同程度の規模の現場の変動係数を仮定して、便宜的にその変動係数を用いて目標とする圧縮強度を決めるのに似ている。したがって統計的な品質管理の考え方をさらに忠実に実行してゆくためには、PCケーブルの緊張結果について、相当数の資料ができたとき、これらの資料をもとにして、母集団のばらつきの大きさ、

すなわち標準偏差を推定し直して、この標準偏差の2倍の範囲を新しい管理限界として、管理図に記入するのがよい。このようなことができるのは、かなり大きな現場で、同種のPC部材を非常に沢山製作する場合であり、PC部材の製作本数が、20本程度以下の現場では、PC指針に示されている、許容誤差を管理限界として、終りまで続けてしまってもかまわない。ただし、PCケーブルの配置の形状が非常に特殊な場合とか、PCケーブルが特殊なものであるような場合には、ばらつきの大きさが、指針の規定において仮定しているものと、かなり異なることもありうるので、十分注意しておく必要がある。このためには、平均値の管理図のほか、これと平行して、範囲の管理図を書いておく非常に役に立つ。

母集団の標準偏差の推定値 $\hat{\sigma}$ の計算は次の式によって行なわれる。

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

n : 資料の数, \bar{x} : 資料の平均値

しかしこの計算はかなり面倒なので、非常に簡単な方法として n 個の資料の範囲 R が一般に使われる。 $\hat{\sigma}$ と R の間には $\hat{\sigma} = R/d_2$ なる関係があり、 d_2 は資料の数によって次のように与えられる。

資料の数	n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_2		1.128	1.693	2.059	2.326	2.534	2.704	2.847	2.970	3.078

管理図の記入の仕方および管理の具体的方法について図-8によって説明しよう。

表-2の緊張データの表における $\bar{\delta}$ の値を平均値の管理図として図-8のようにプロットする。管理限界線として表-3の組の数6の場合の値 $\pm 4\%$ の線を引く。そして各桁ごとに求めたデータがこの管理限界線の中であり、しかも0線のまわりに分布していれば、良好な管理状態と考える。

平均値の管理図とともに、表-2の R の値を範囲の管理図として図-8のようにプロットしてゆく、プレストレッシングの管理においては範囲の管理図は平均値の管理図にくらべて重要度は少ない。というのは、プレストレッシングの管理においてばらつきの大きさは設備または計器の改善によってもほとんど制御できないものであり、またばらつきの大きさ自体が問題になることはほとんどないからである。したがって管理限界は設けなくてもよいであろう。

平均値の管理限界は、便宜的に各PCケーブルにおけるばらつきの標準偏差が 5% であるとして決めたものである。その現場のデータがある程度得られたら、その現場の母集団のばらつきを推定して、管理限界をひき直すのがよい。図-8において、はじめの10個の資

料によって平均値の管理限界をひき直すには次のようにすればよい。はじめの 10 本の桁について、範囲の大きさの平均値 \bar{R} を求めると、14.9% となる。したがって母集団のばらつきの標準偏差の推定量を σ とし、管理限界を $\pm L$ とすると、

$$L = \frac{2 \times \sigma}{\sqrt{n}} = \frac{2}{\sqrt{n}} \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{2}{\sqrt{6}} \times \frac{14.9}{2.534} = 4.8$$

したがって管理限界を ± 4.8 の線に引き直す。

修正された値は 10 個のデータから母集団の標準偏差を推定したものであるが、資料の数がふえれば推定値も異なってくるので、管理限界の修正は、桁本数で 20 本程度、ケーブル本数で 100 本程度の間隔で行なえばよいであろう。

平均値の管理図を調べてゆくと、No. 11 のデータから No. 14 のデータまで、値が下がりがつづけている。No. 14 のデータはまだ管理限界の外に出していないが、データが一方的に下がってきているときには、何らかの原因によってこのような傾向が生じているのかどうか調べてみるのが安全である。ここにあげた例では、No. 14 の桁の緊張が終ったあとに、No. 15 の桁について、摩擦測定を行なった結果、摩擦係数がかなり大きくなっていることが明らかになったので、あらたに測定した摩擦係数を用いて緊張計算をし直し、No. 15 の桁からは、新しい値を緊張計算の値として採用してプレストレッシングを行なって、そのデータをプロットしている。

管理図を使用して、管理してゆく場合には、常に管理限界が判定の基準になるのであるが、資料が管理限界の外に出るまで、手をこまねいているのはよくない。1 つの資料が管理限界の外に打点されたときは、その資料に含まれるグループの PC ケーブルはすでにプレストレッシングを終了してしまっており、少なくともそのグループの PC ケーブルを含む PC 部材については、管理図の上からは有意な差があるものと判断されるものが製品として作られることになるので、できることなら管理限界の外に出る前に、できるだけ早く異常をとらえることが必要である。また逆に、ここで述べている 2σ の管理限界では、異常がなくても 20 回に 1 回程度は管理限界の外に出る可能性があり、異常がなくても異常と判断されることもあるのである。したがって管理図を運用してゆくうえに次のような点に注意をする必要がある。

(a) 管理図において、点が連続して片寄った側にあらわれる場合には、たとえその点が管理限界の中にあっても有意性をあらわす何かの故障原因があることが疑われる。点がランダムにばらついているか、いないかを理論的に検定する方法があるが、説明は省略する。しかしたとえば、平均線の片側に連続して n 個の点があらわれ

る確率を考えてみれば $(1/2)^n$ であるので、7 個も連続するような確率は $(1/2)^7 = 1/128$ でかなり少ない確率である。したがって 7 個も点がならば、何か有意な原因が生じるものと判断し、その原因を確かめることは必要であろう。

(b) 図-8 の例でのべたように、点が一方の管理限界にだんだんに近づいてゆくような傾向を示している場合には、管理限界の外に点が飛び出す前に、故障原因が生じているかどうかを検査する必要がある。このような傾向はシースあるいは鋼線のきびが進行して、摩擦係数が徐々に大きくなってきたような場合とか、荷重計が徐々に狂い出したような場合に現われてくる。

(c) (a), (b) においてのべたような傾向を示さないで、一つの点が管理限界の外に出た場合には、一応故障原因がないかどうかをあたって見る。しかし、故障原因がつかめなければ、そのまま次のプレストレッシングを続ける。というのは、故障原因がなくても 20 回に 1 回程度は管理限界の外に打点される可能性があるからである。しかし、次の点もやはり管理限界の外に打点されたならば、故障原因があることはほとんど確実であろう。というのは、偶然の原因で 2 つ続いて管理限界の外に打点される確率は $(1/20)^2 = 1/400$ 程度の小さいものだからである。そしてこの場合は徹底的に故障原因を追究しなければならぬ。

[方法 2]

緊張計算図の作製を、(方法 2) によった場合は、実際にケーブルを緊張した場合、のび一圧力曲線 μ のいかなる値の線に沿っているかを見て、 μ の値を統計量として選定することもできる。

緊張計算図に各種の μ の値について計算したのび一圧力直線を記入しておくのがよいが、各種の値について計算するのは面倒であるので、実用的には図-6 の A-B 線上において、AB 間の距離が μ の差 0.2 に相当するとして、補外法によって $\mu=0$, $\mu=0.6$ ……等に相当するのび一圧力線を記すことができる。

先にもふれたように、この μ の値は理論的には摩擦係数を示す値であるが、実際には PC 鋼材の見掛けのヤング係数のばらつき、その他のばらつきの影響がこの値にあらわれるので、のび一圧力線が、例えば $\mu=0.3$ の線に一致しているからといって、そのケーブルの摩擦係数が $\mu=0.3$ であるとはいえないのである。この点の使用にあたって十分気をつけなくてはならない。

この方法で採用する統計量 μ と、[方法 1] で採用した統計量 σ とは一見まったく無関係のようであるが、本質的には差はない。なぜかという、両者とも のび一圧力直線の勾配の変化を形を変えてあらわしているものにすぎ

ないからである。

[方法 2] においては、勾配の変化を μ という理論的な摩擦係数の値におきかえており、

[方法 1] においては 図-9 の計算値 A と、緊張値 B との間から次のような関係が求められる。

$$\delta = \frac{l_B - l_A}{l_A} - \frac{\sigma_B - \sigma_A}{\sigma_A} = \frac{l_B}{l_A} - \frac{\sigma_B}{\sigma_A}$$

また $\frac{\sigma_B}{\sigma_{B'}} = \frac{l_B}{l_A}$

$$\delta = \frac{\sigma_B}{\sigma_{B'}} - \frac{\sigma_B}{\sigma_A} = \sigma_B \left(\frac{\sigma_A - \sigma_{B'}}{\sigma_{B'} \sigma_A} \right)$$

一般に $\sigma_B \doteq \sigma_{B'}$ と考えられるので、

$$\delta \doteq \frac{\sigma_A - \sigma_{B'}}{\sigma_A}$$

すなわち δ は OA 線と OB 線の開きをあらわしている。

[方法 1] における δ と、[方法 2] における μ とは本質的には同じものではあるが、その表現の仕方が異なっており、各種のばらつきが δ あるいは μ の値に影響をおよぼす仕方は必ずしも同一ではない。

[方法 2] の特長は、緊張図に圧力-のび曲線を記入するとただちに μ の値が読みとれる点にあるので、データの整理が簡単である。

1. の方法と同様に工事開始当初においては、次の表-4 に示す管理限界によって管理を行なう。この場合、基準となる μ の値は摩擦測定の結果から得られた値とする。表-4 はいくつかの現場における実測の結果から得られたもので、表-3 の値とはほぼ等しい信頼限界をもつものである。

表-4

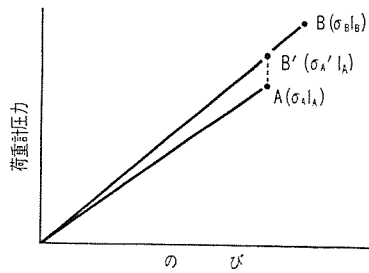
組の数	許容誤差	組の数	許容誤差
1	±0.4	6	±0.16
4	±0.2	10以上	±0.13

この場合にもいくつかの資料が得られたら、その資料をもとにして、統計量 μ の平均値と標準偏差を推定して新しい管理限界によって管理を行なうのがよい。

管理の手順は [方法 1] の δ のかわりに μ を用いて、まったく同様に行なえばよいのであるが、簡単に述べれば次のようになる。

$\bar{\mu}$ の母集団の平均値および標準偏差を推定するのに、まず No. 1~No. 10 の 10 本の桁の資料から推定する

図-9



とすると、

$$\bar{\mu} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} \mu_n = 0.2865$$

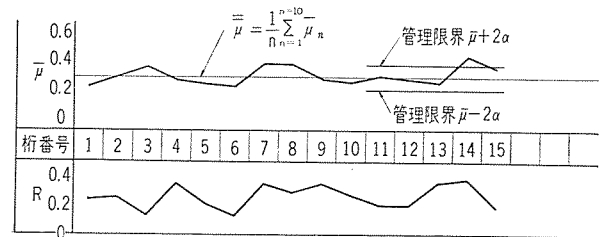
$$\bar{R} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} R_n = 0.258$$

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{0.258}{2.534} = 0.102$$

各桁ごとの μ の平均値 $\bar{\mu}$ に対する管理限界を 2σ とすると、No. 11 以降の桁については、 $\bar{\mu}$ の管理限界として暫定的に $\pm 2\sigma = \pm \frac{0.204}{\sqrt{\sigma}} = 0.083$ を用いる。

この場合 $\bar{\mu} - 2\sigma$ の管理限界線が μ の負の値となることがありうる。管理限界が摩擦係数の負の領域まで変えることになり、一見非常に奇異な事からであるが、これは、先にも述べたようにいろいろな要素によるばらつきを μ の値で代表させたためであって、この場合、摩擦係数が負であるということではない。

図-10 管理法の管理図



4. 集中ケーブルの場合の管理

集中ケーブル方式で1つの主桁に含まれる PC ケーブルの本数が極端に少ない場合には、これまで述べてきたような管理の方式では、十分に正確なプレストレスを与えることができない。なぜならば、個々のケーブルについては非常に大きなばらつきがあり、集中ケーブル方式の場合には偶然誤差によるばらつきが大きく影響する可能性があるからである。プレストレスの作業は一回で終るが、それだけに十分慎重にプレストレスを行なわなければならない。この場合、統計的な管理の方法を適用することができないので、次にのべるような注意事項を守って、偶然誤差の影響を小さくするように努めなければならない。

a) 端部におけるケーブルののび量、荷重計の読みを測定するばかりでなく、できれば途中に観測窓をあげ、その点の応力測定、ケーブルの移動測定を行なって、これからも所定の引張力が与えられたかどうかを確認する。

b) 摩擦による引張力の損失をできるだけ小さくするように減摩剤を使用する。

c) 摩擦および見掛けのヤング係数測定を十分に安定した測定値が得られるまで何回か続け、信頼度の高い値

表-5 緊張データ [方法 2]

桁番号	1						2						3						4					
ケーブル番号	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
μ の値	0.34	0.26	0.12	0.14	0.36	0.12	0.29	0.44	0.30	0.26	0.18	0.28	0.37	0.27	0.33	0.34	0.40	0.40	0.29	0.08	0.43	0.18	0.40	0.20
μ の平均 $\bar{\mu}$	0.223						0.291						0.357						0.263					
μ の範囲 R	0.24						0.26						0.13						0.35					
桁番号	5						6						7						8					
ケーブル番号	1	2	3	4	5	6	1	3	2	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
μ の値	0.10	0.30	0.31	0.28	0.30	0.15	0.27	0.20	0.18	0.18	0.20	0.31	0.28	0.63	0.38	0.34	0.35	0.29	0.40	0.27	0.25	0.40	0.54	0.35
μ の平均 $\bar{\mu}$	0.240						0.223						0.378						0.368					
μ の範囲 R	0.21						0.13						0.35						0.29					
桁番号	9						10						11						12					
ケーブル番号	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
μ の値	0.18	0.30	0.20	0.10	0.40	0.45	0.35	0.20	0.25	0.28	0.08	0.34	0.18	0.27	0.35	0.38	0.37	0.24	0.25	0.26	0.32	0.15	0.32	0.35
μ の平均 $\bar{\mu}$	0.272						0.250						0.298						0.275					
μ の範囲 R	0.35						0.27						0.20						0.20					
桁番号	13						14						15						—					
ケーブル番号	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	—					
μ の値	0.07	0.23	0.20	0.25	0.32	0.43	0.24	0.62	0.54	0.34	0.35	0.50	0.30	0.41	0.35	0.48	0.29	0.29	—					
μ の平均 $\bar{\mu}$	0.250						0.432						0.353						—					
μ の範囲 R	0.36						0.38						0.19						—					

を求める。

d) プレストレッシングにおいても何回か緊張をくり返し、PC 鋼材ののびと荷重計の読みの関係が安定してから、定着を行なうようにする。この場合のびから推定される引張力と、荷重計の読みから推定される引張力の差は 3~5% 以下におさめるようにすべきである。

5. むすび

PC 工事においてもっとも大切なプレストレッシングを統計的に管理してゆくことの重要性は、コンクリートの品質を統計的に管理してゆくことの重要性と比較しても、容易にうなづけるところであろう。しかるに、プレストレスト コンクリート が非常に新しい技術でありその発達が急激であったため、他の施工上、設計上の問題点を解決するのに、せい一杯で、プレストレッシング

の管理の問題まで手をつけかねていたというのが実状である。外国においても、まだプレストレッシングを統計的に管理して行くというような事は行なわれていないようである。したがって、プレストレッシングの統計的管理は実用の緒についたばかりで、まだまだ残された問題も少なくない。

例えば、推計学の手法の導入の仕方にもまだ不十分な点が多く、推計学という有力な武器を十分に生かしているとはいえないし、実用化を簡単にするために、理論的に多少無理な取り扱いを行なっている点もないではない。しかし、重要なことはまず実行しようという立場に立って、本稿の中ではかなり断定的な表現も行なった。しかし、ここに述べた方法が最上の方法であるとはいえないので、実用しながら、より合理的な方向に改めてゆくよう読者諸兄の御努力を期待する次第である。

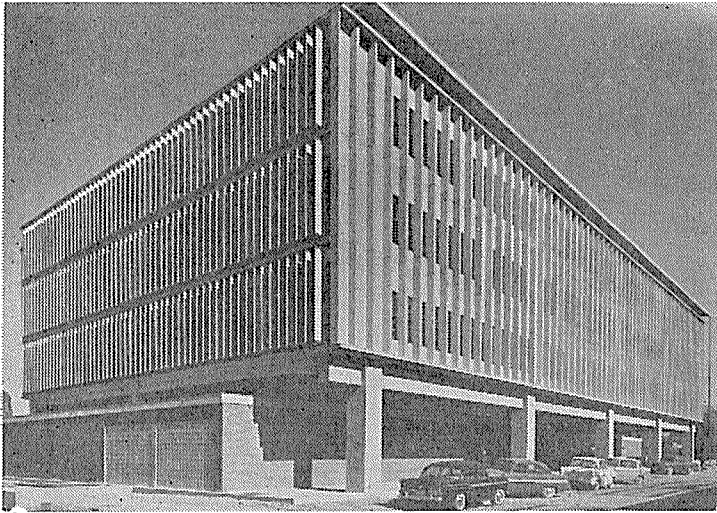
1962.12.26・受付

講座について

2回にわたり連載した野口 功氏の「プレストレッシングの管理」は本号をもって終了いたします。御多忙のところ非常にやっかいな問題と取り組んでいただいた筆者の御努力に厚く御礼申し上げます。本号には建築関係として本岡順次郎氏の「プレストレスト コンクリートの構造計画」をあわせて登載いたしました。が、(1) から (3) までを本岡氏、(4)、(5)、(6) を中野清司氏が御執筆になる予定です。なお8月より3回の予定で「プレキャスト PC 桁の製作架設」を連載するべく準備を進めております。

講座に対する御希望、御意見などありましたら、編集委員会にお申出いただければ検討してみます。

(編集委員会)



プレストレスト コンクリート
製品の製造と建設工事設計施工

埼玉県農林会館

地下1階地上4階建事務棟
現場打一体方式
延 4200 m²

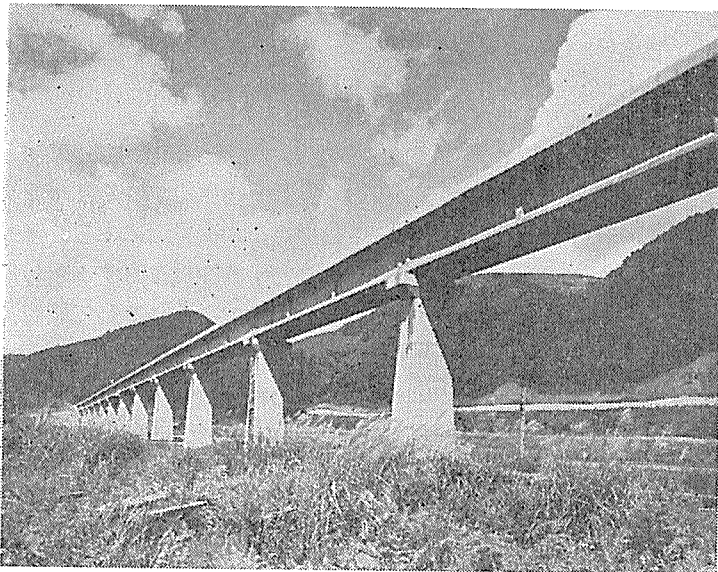


オリエンタルコンクリート株式会社

取締役会長 松井 春生

取締役社長 小林 郁文

本 社 東京都千代田区五番町5 TEL (331)1171(代表)
丸ビル事務所 東京都千代田区丸の内2の2 (丸ビル513区) TEL (201)0653・3109
営業所 大阪・福岡 工場 多摩・尻無川・鳥栖・旭川
出張所 北海道(札幌市)・仙台・名古屋・広島・宮崎



プレストレスト・コンクリート
各種製品
建設工事の設計・施工

第一和賀川鉄道橋(岩手)

橋 長: 400.0 m

巾 員: 3.8 m

荷 重: KS-16



ピー・エス・コンクリート株式会社

取締役社長 三田村 保武

本 社 東京都千代田区四番町5番地 東亜ビル1階 電話 (332) 6101~8
事 務 所 東 京・大 阪・福 岡・名 古 屋・仙 台
工 場 七 尾・鴨 宮・水 島・伊 丹・北 上・神 町・水 口