

に 2.72 (配列番号 17 と 18 の間) があること等も便利の一つに数えられるであろう。

以上標準数を使用することの効果を紙面の都合上二つだけいじめるしいものについて挙げたのであるが、さらに研究すればその合理性、便利さを活用しうる使い方はほかにもたくさんあるであろう。

工業技術院ではとりあえず材料の規格寸法を JIS で決める場合の基準として、今後なるべく標準数によるべきことを推奨している。しかしそれにはまづ製造機械、工作機械の改善が先決であり、すべての工業部門が同時にこのような方式を積極的に採用することがなければ意味をなさない。そのためにはまづ耳新しい言葉、標準数が理解されることこそ第一である。われわれは物を設計し製作施工するに際して、従来実に多くの理論、実験、経験の世話になつてゐるが、これらの生の結論をもつてただちに応用の結論としての数字とせず、さらに工業技術者として広い視野から、かか

る数字を標準数に焼直して処理することができれば、ルナルももつて撰すべきであろう。

要は現在のところ標準数は推奨されるものであり、強制されるものではない。しかし標準数の普及によつて工業技術の能率が向上し、合理化が促進されるのであれば、現在わずかばかりの骨折や配慮によつて子孫にまでよい結果をもたらすことを思い、つとめて標準数の採用に協力したいものである。かつてのメートル法のごとくに……………。

標準数に関する参考文献

- 1) JIS Z 8601, 解説 (公示と同時に出版予定)
- 2) ISO ニュース, 昭.28.6.1 (13号); 昭.28.8.15 (18号), 日本規格協会発行
- 3) Draft ISO Recommendation, No.7, Series of Preferred Numbers.
- 4) Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure, Bd. 92, Nr.6, 21 Febr. 1950
Die Normzahl/Wesen und Anwendung, Siegfried Berg.

摩擦によるプレストレスの損失

正員 樋口 芳郎*

ポストテンション方式のプレストレスコンクリートにおいては、PC 鋼線を曲線状に配置し、曲げモーメントに比例する偏心を与えることが多い。この場合緊張端から遠ざかるにつれて摩擦によるプレストレスの損失が大きくなり、所定のプレストレスを与えることができないという面白くない問題がおこる。先進国であるフランス、ドイツ、アメリカ等でもここ数年来多くの論文が発表されており、世界的にみて新しい問題の一つであると思われるので、これらについて紹介するのも有意義であろう。

摩擦による損失のため、プレストレスが緊張端から遠ざかるにつれて指数函数的に減少することはわかっていたが、W. Swida¹⁾ は 1952 年に連続バリの支点における摩擦損失はクリープ、収縮による損失と同じ程度であるといい、摩擦の影響と PC 鋼線がそれと直角方向にコンクリートにおよぼす圧力について、付着があるときとないときとにわけて論じている。摩擦によるプレストレスの損失は湾曲部材軸の形に無関係で湾曲角度と摩擦係数にだけ関係するといつている。

F. Leonhardt と E. Mönnig²⁾ は 1952 年にパラフィン等をぬつた減摩板を挿入して摩擦係数を小さくすることを提案しているが、また Leonhardt³⁾ は連続

桁に応用した例について詳細に論じている。パラフィンを用いることにより摩擦係数を 1 桁上げることができるが、Leonhardt は PC 鋼線をたくさん 1 カ所に集めてこれに減摩材をぬつた減摩板を挿入すること、PC 鋼線の束は円形でなく水平な構成とすること、PC 鋼線は連続的な曲線としないで多角形とし、折線の交点の所で摩擦を少くする方策を講ずること (このことにより直線部では減摩方策を考える必要がないから付着の点でも有利である)、PC 鋼線を途中で補助的に引張ること、等のことを提案している。Leonhardt はこれらの方法を併用することによりスパンが各 35~45 m の 3 径間連続桁で摩擦係数 0.07 というような値をえている。

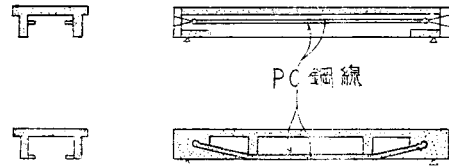
W. Zerna⁴⁾ は 1952 年計画的に一端に過緊張を与え、つぎにこれをゆるめるという方法を繰返し、2 回目からは過緊張およびゆるめ方をだんだん減じてゆき所定のプレストレスを内部まで与える方法を提唱している。この方法によると一般に数カ所で所定のプレストレスが与えられ、その他の箇所ではややこれを上回るプレストレスが与えられることになるが、このプレストレスの不均一は時日の経過とともに一様化してゆく程度のものである。この方法は PC 鋼線が無理なく過緊張を受けもつ範囲という制約をうけるものと判断

* 国鉄鉄道技術研究所、コンクリート研究室

される。同じく Zerna⁵⁾ は 1953 年に次のような巧妙な方法を提案している。すなわち PC 鋼線とシーソとの間に金属板を配置しておき、PC 鋼線を引張つて摩擦損失がおこつたのち、改めて金属板を引張ることにより摩擦損失をとりもどそうとする方法である。当初 PC 鋼線を引張つたときに摩擦によるプレストレスの損失があつたことは PC 鋼線と金属板の間に摩擦力が存在していたということであるから、金属板を引張ればちょうどプレストレスの損失を補うことになるはずであり、きわめて巧妙な方法といえる。

O. Völter⁶⁾ は 1954 年に摩擦によるプレストレスの損失を補う方法を概観しているが、そのうちおもなものを拾うと次のおりである。(1) 桁の軸を曲げることにより PC 鋼線をまつすぐ引張ればよいようにする。普通曲げモーメントの変化に応じて PC 鋼線を曲げるのであるから、桁の高さを変えることにより桁の軸を曲げて曲げモーメントの変化に応ずるようにしておけばよいという考え方である。このことは Leonhardt もさきに提案しているが、上路橋の場合は上面を平らにするため、あとでコンクリートを打たなければならないのでその部分が欠陥となりやすいし、その他種々の点であまり良策とはいえないようである。この考えで実際につくられた橋梁もあるが失敗例もあるという。坂博士⁷⁾は桁の形はかえず PC 鋼線の曲線形をかえて偏心量をかえ、摩擦によつてプレストレスの損失がおこつても桁軸との偏心量を加減することによつて、曲げモーメントに関する限り所定の成果をあげることを提案しておられるが、本項目と同様の考えから出発しているものと判断される。坂博士の方法は考案者自身が認められているとおりに集中荷重をうける桁には適用できないというような制限をもっている。(2) 内部からプレストレスを加えることにする。桁の形を極端に直線形からかえることは不可能であるから (1) の方法には当然ある制限が加わる。そこで次に考えられるのは内部からプレストレスを加える方法である。この方法によると、緊張箇所は PC 鋼線の端部でなく内部になる。摩擦によるプレストレスの損失という点から考えてこの方法が非常にすぐれているのは最もプレストレスの欲せられる箇所で緊張する結果、そこでは摩擦によるプレストレスの損失が 0 になるという点である。この考えを最初に利用したのは Dischinger であり、のちに述べる Kani-Baresel に似た方法でスパン 69 m の橋を 1936~1937 年に建造している。しかしこの方法には PC 鋼線が外部にあること、従つてたとえ錆びないようにしても付着がないという欠点をもっている。この付着というものが望ましいものであ

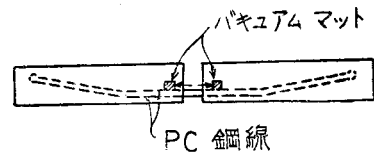
図-1 Kani-Baresel 法



ることは Dischinger 自身みとめている。Kani と Horvat は Kani-Baresel の方法を提案し、Dischinger 法の欠点を一掃している。この方法は PC 鋼線をプレストレスを与えられたコンクリートで直接かこむことにおいて Dischinger 法にまさっているが、PC 鋼線をはじめまつすぐに配置されており、これを下方に途中で引張ることにより PC 鋼線に緊張力を与えている (図-1 参照)。この方法で製作された試験桁の成績によると、普通の載荷試験に対しても、また疲労試験に対しても優秀な結果を示したといわれる。現在この方法によりスパン 60 m の橋梁を架設中であるといわれる。これまでに述べた方法はすべて PC 鋼線をその方向に対して横向きに引張っているが、もちろん PC 鋼線と同一方向に引張つてもよいわけである。すなわち、桁を中央で 2 つに切つておき、この内部に PC 鋼線を配置したのち、桁の両部分を互いにはなれるように動かすことによつてプレストレスを導入する方法である。アメリカ⁸⁾においては梁の両部分をはなすのに埋込鉄桁を利用したり、アメリカ特有のパキュアムマットを使用したりしている (図-2 参照)。大きい桁にこの方法を応用するときは一方向の桁を固定しておき、もう一つの桁をパキュアムリフターであげるという方法がとられている。

フランスにおいては M.J. Montagnon⁹⁾ が 1954 年に、緊張端における PC 鋼線の伸びと引張力だけを

図-2 アメリカ法



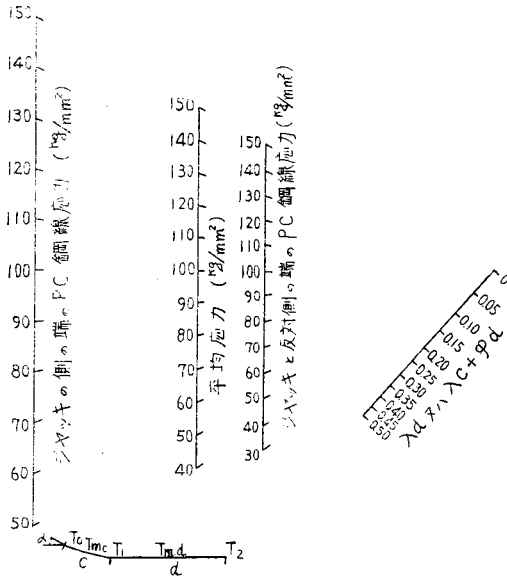
測定することにより摩擦による各部のプレストレスの損失を算定する注目すべき論文を発表している。たしかに指数関数を用いていちいち計算するのはわずらわしいし、また作業にさしつかえるような測定を行うことも望ましくないのでこの論文は画期的なものであると思われる。内容を簡単に紹介すると次のようになる。図-3 中の T_1 及び T_2 は次式で表わされる。

$$T_1 = T_0 e^{-(\phi \lambda + \psi \alpha)}, \quad T_2 = T_1 e^{-d \lambda}$$

ただし、 λ は単位長さ当りの摩擦係数、 ϕ は単位角度

当りの摩擦係数である。これを積分し、弾性係数で割って鋼線の伸びをうることができる。鋼線の伸びの一つの値に対しては ϕ 及び λ の無限の組合せがある。もしある工事現場における ϕ 及び λ の値が一定であるとすれば α, c, d のいろいろの値に対し ϕ と λ の間の関係をおのおの求めることができる。指数関数を展開して近似的に1次式であらわせば ϕ と λ の関係は直線的になる。従つてある工事現場では直線群をうることになるが、これらの交点に相当する ϕ 及び λ の値がその工事現場における摩擦係数の値となる。フランスのある工事現場 (スパン 41 m) では $\lambda=0.5\%$, $\phi=0.12$, また他の工事現場では $\lambda=1\%$, $\phi=0.25$ というような値が得られている。ただし λ は 1 m あたり, ϕ は 1 ラジアンあたりの値である。あまり注意しなくても λ を 0.5% 以下に, また ϕ を 0.2 以下にすることはできると示唆している。 ϕ 及び λ が求めれば PC 鋼線各部のプレストレスを求める図表をつくるのは単なる計算図表の問題となる (図-3 参照)。

図-3 Mantagnon の図表



先進国でそれぞれ優秀な成果の発表されていることは、入手できる限りの文献で紹介した次第であるが、一般的にみて、ドイツ及びアメリカでは摩擦によるプレストレスの損失を減少するために斬新な方法が提案されているのに対し (そのうち多くのものは特許になつているものと思われる), フランスでは減摩材をぬつておいてプレストレスを与えたのち減摩材を洗い去つて注入後の付着を確保するという程度の方策がとられているだけのものであり、概して保守的の観を呈し

ているが、これはフレシネーというあまりに大きな存在が他を圧しているからかもしれない。

さて最後に (他人の優秀な成果に感心しているばかりではいかにも情ないから) ひとつ摩擦損失を補償する方法を提案してみよう。プレストレスを与えるために熱膨脹を利用することは古来提唱されてきたところであるが、すべて一様な熱分布を与えるにとどまつたようである。ここで一歩進めて不均一な熱分布を与えることにより摩擦によるプレストレスの損失を補償することにしてはどうであろうか。すなわち摩擦損失の大きいと予想される箇所にはそれに相応した大きい熱膨脹を与えておき、PC 鋼線が一様な温度になつたときは熱応力によつて摩擦損失をちょうど補償するようになしておけばよいわけである。不均一な熱分布を与えるには電気抵抗値の変化する電熱線を用いてもよいし、また PC 鋼線が外に開いた溝に配置されたときは所定の熱量を与えるのはきわめて容易であろう。プレストレスの全量を熱膨脹にたよろうとするわけではないから、それほど高温を与える必要もないであろうし、緊張端における PC 鋼線の伸び及び引張力と給熱の関係を合理的に定めることにより相当満足すべき結果がえられるのではないかと期待される。

参考文献

- 1) W. Swida : Über den Einfluss der Reibungskräfte bei der Vorspannung im Stahlbetonbau, Bauingenieur, Heft 5, 1952, S. 169~171
- 2) F. Leonhardt und E. Mönning : Reibung von Vorspanngliedern, Beton und Stahlbetonbau. Heft 2, 1952, S. 42~45
- 3) F. Leonhardt : Kontinuierliche Balken aus Spannbeton, Die Bautechnik, April 1953, S. 89~96
F. Leonhardt : Continuous prestressed concrete beams, ACI, March 1953, p. 617~634
- 4) Wolfgang Zerna : Beseitigung des Vorspankraftverlustes infolge Reibung beim Vorspanner, Beton und Stahlbetonbau, Heft 11. 1952 S. 268~269
- 5) Wolfgang Zerna : Auslöschten des Sannkraftverlustes infolge Reibung bei Spanngliedern für Spannbeton, Beton und Stahlbetonbau, Heft 9, 1953, S. 209~210
- 6) Oskar Völter : Die Reibung im Spannbeton, Beton und Stahlbetonbau, Heft 6, 1954, S. 138~142
- 7) 坂 静雄 : 曲線緊張 PS コンクリート梁の一処置, セメントコンクリート, No. 82, 1953, 1 p. 12
- 8) KP Billher 原著の紹介 Beton und Stahlbetonbau, Heft 11, 1951 p. 260
- 9) J. Montagnon, Aspects pratiques de la pret contrainte par câbles, Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, No. 78, juin, 1954, p. 503~520