

アンボンド PC 鋼より線の緊張時まさつ係数について

竹 本 靖

Frictional Coefficients of Unbonded Wire Strands

Yasushi Takemoto

Abstract

This paper presents a proposal on rational values of the frictional coefficients μ and λ for unbonded wire strands. The values proposed are based on measured data of actual friction losses obtained from 52 unbonded tendons at 6 sites.

概 要

近年、スラブなどでよく用いられるようになったアンボンド PC 鋼より線の、緊張時まさつ係数について、実使用を通じて蓄積された測定データをもとに、より合理的な値を提案した。長さ・角変化ともさまざまで、通常の使用範囲のほぼ全域を埋めると思われる、6現場52本のテンドンから得たまさつ損失データを処理して、1組の $\mu \cdot \lambda$ 値を求め、これに若干の工学的判断を加えて、提案値としたものである。

1. はじめに

7本より、または19本よりの PC 鋼より線に、防錆用のグリースを塗布し、プラスチックシースを被せた、アンボンド工法用 PC 鋼材(以下、シースストランド)は、プレストレスト鉄筋コンクリート構造の実用化にともなって、スラブを中心に実施例が急増している。その結果、当初はデータ不足のため過剰にコンサーバティブと思われる取扱いを余儀なくされた諸問題に対して、新しい有効なバックデータを背景に、見直しを行ない、より合理的なアプローチができるようになってきた。本報で対象とする緊張時まさつ係数も、そのような見直しが可能となった問題の一つである。

シースストランドのまさつ係数 (μ, λ) は、金属製のシースと、やや錆の出かかった PC 鋼材の表面とのまさつであるボンド方式に比べて、潤滑剤としても有効なグリースを介してやわらかいプラスチック製シース面を滑るという点で、かなり小さくなるのが直感的にも理解されよう。しかし、我国でアンボンド工法の実用化が始まった初期の段階では、質量ともに乏しい実験結果をもとにした、鋼材メーカーの推奨値等(表-1)を採用しており、実施経験を重ねるにつれ、より実情に沿った値を求める声が高まってきたのである。

資 料	μ	λ
1) 鋼線メーカー(A)	0.12	0.0035
2) 鋼線メーカー(B)	0.1 ~ 0.15	0.003 ~ 0.008
3) ACIコード解説	0.05 ~ 0.15	0.0003 ~ 0.002
4) コンクリートソサエティ	0.12	0.003

表-1 従来からの $\mu \cdot \lambda$ 参考値

当社では、アンボンド工法採用各現場で事情が許す限り、緊張工事開始時に、いくつかのアンボンドテンドンの両端にセンターホール型のロードセルを装填して、緊張端と定着端の荷重差を検出するという直接的な方法で、緊張力のまさつ損失を実測、当該工事の施工管理に利用するとともに、データとしての蓄積を計ってきた。

また技術研究所でも、シースストランドを用いた円筒形容器構造物の大型実験に先立ち、別途テストベッドによる予備緊張試験を行なって、同データを採取した。

これらの実測データがある程度の量に達したので、今回それらをまとめ、以後アンボンド構造の設計・施工計画時に仮定すべき $\mu \cdot \lambda$ 値を提案することとした。

2. まさつ損失実測テンドンの概要

対象工事は A~F の 6 現場、測定テendonは表-2 に

工事	構造物	テンドン	数 (本)	緊張力 (t)	α の範囲 (ラジアン)	l の範囲 (m)
A	テストベッド	7本より 6.2 ϕ	4	3	3.14	4.7~5.2
B	テストベッド	19本より12.7 ϕ	12	13	1.57~2.37	3.5~5.9
C	ボイドスラブ	7本より15.2 ϕ	5	18	0.18~0.21	8.1~9.2
D	フラットスラブ	7本より15.2 ϕ	2	18	0.41	21.8
E	大ばり	19本より17.8 ϕ	9	27	0.47~0.95	10.6~19.2
F	大ばり	19本より21.8 ϕ	20	43	0.37~1.86	13.5~55.4

表-2 まさつ損失測定テンドン一覧

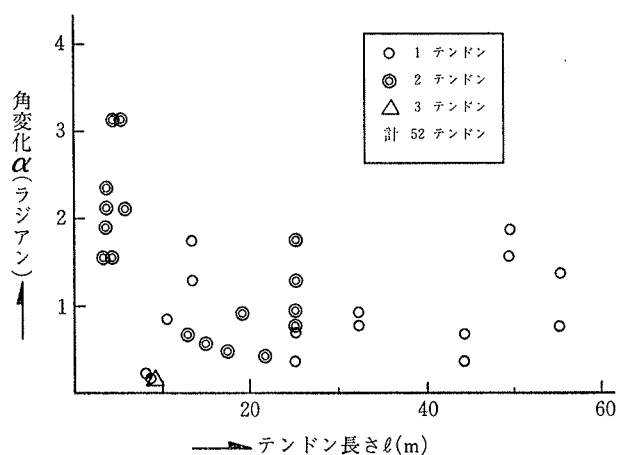


図-1 まさつ損失測定テンドンの $\alpha \cdot l$ 分布

示したように、角変化 α と長さ l の異なる52本である。工事 A, B は、円筒形容器構造の予備試験で、 l に比べて α が大きい。C, D は、実際のスラブに用いたもので α が小さく、 l も特に長くない。E, F は、ビルの大ばりの例で、ストランド径が大きい上、 α, l とも範囲が広い。全テンドンの α および l の分布状態を図-1に示す。図から分かるように、実際の工事で遭遇するであろうほとんどの範囲をカバーしていると言えよう。

3. 実測結果

全テンドンのまさつ損失実測結果を表-3に示す。

表中、 P_0 は緊張端側ロードセルの指示値で、目標導入荷重に達した時の値(くさび定着前)である。 P_1 は同じ瞬間の定着端側ロードセル指示値である。 P_0/P_1 値は、 μ, λ を算出する際のベースとなるもので、その関係は次式で与えられる:

$$\mu\alpha + \lambda = \log \frac{P_0}{P_1}$$

表-3の、設計値とは、後述する μ, λ 提案値を上式に入れて、 P_0/P_1 値を逆算したものである。

なお、テンドンの緊張速度は、テンドン長さによって異なるが、おおむね 3~10 mm/sec の範囲である。

工事	テンドン	α (ラジアン)	l (m)	P_0 (t)	P_1 (t)	$\frac{P_0}{P_1}$	実測値 設計値
A	1	3.142	5.225	3.00	2.60	1.154	0.946
	2	3.142	5.225	3.00	2.59	1.158	0.949
	3	3.142	4.659	3.00	2.66	1.128	0.925
	4	3.142	4.659	3.00	2.65	1.132	0.929
B	1	2.094	5.86	12.97	11.79	1.100	0.957
	2	2.094	5.86	13.00	11.67	1.114	0.971
	3	1.571	4.34	12.85	12.04	1.067	0.963
	4	1.571	4.34	13.05	12.17	1.072	0.967
	5	1.571	3.46	12.88	12.44	1.035	0.935
	6	1.571	3.46	13.04	12.36	1.055	0.953
	7	2.371	3.86	13.00	11.79	1.103	0.949
	8	2.371	3.86	13.00	12.07	1.077	0.927
	9	2.114	3.82	13.00	11.95	1.088	0.951
	10	2.114	3.82	13.07	12.27	1.065	0.931
	11	1.849	3.78	12.80	11.76	1.088	0.966
	12	1.849	3.78	13.01	12.25	1.062	0.943
C	1	0.181	9.2	18.42	18.15	1.015	0.986
	2	0.181	9.2	18.22	17.82	1.022	0.992
	3	0.181	9.2	18.74	18.38	1.020	0.991
	4	0.193	8.7	18.33	17.74	1.033	1.003
	5	0.208	8.1	17.91	17.58	1.019	0.990
D	1	0.408	21.8	19.56	18.96	1.032	0.964
	2	0.408	21.8	19.79	17.86	1.108	1.035
E	1	0.9191	19.225	27.23	25.46	1.070	0.974
	2	0.9059	19.225	27.25	25.27	1.078	0.982
	3	0.4683	17.425	27.42	26.51	1.034	0.971
	4	0.4683	17.425	27.42	26.43	1.037	0.974
	5	0.5524	15.175	27.07	26.43	1.024	0.961
	6	0.5524	15.175	27.93	27.19	1.027	0.964
	7	0.6764	12.875	27.35	26.34	1.038	0.971
	8	0.6764	12.875	27.63	26.62	1.038	0.971
	9	0.9490	10.575	27.47	26.32	1.044	0.966
F	1	0.690	25.3	42.3	39.9	1.060	0.967
	2	0.374	25.3	42.8	39.0	1.097	1.020
	3	1.742	25.5	43.6	41.7	1.046	0.895
	4	1.280	25.5	43.1	40.4	1.067	0.939
	5	0.932	25.3	42.1	40.4	1.042	0.937
	6	0.780	25.3	42.3	40.6	1.042	0.945
	7	1.380	55.4	42.5	38.5	1.104	0.910
	8	0.748	55.4	43.4	39.8	1.090	0.933
	9	1.864	49.5	43.2	36.8	1.174	0.955
	10	1.560	49.5	43.4	36.8	1.179	0.976
	11	0.690	44.4	43.4	40.6	1.069	0.938
12	0.374	44.4	42.7	40.6	1.052	0.941	
13	0.932	32.4	43.5	40.2	1.082	0.959	
14	0.780	32.4	43.4	40.7	1.066	0.953	
15	1.742	13.5	42.9	40.5	1.059	0.929	
16	1.280	13.5	41.3	40.0	1.033	0.931	
17	0.932	25.3	42.4	39.9	1.063	0.956	
18	0.780	25.3	42.5	39.8	1.068	0.969	
19	1.742	25.5	42.8	40.3	1.062	0.909	
20	1.280	25.5	42.4	40.1	1.057	0.930	

表-3 まさつ損失実測結果

4. データの処理と考察

各実測データから得られた P_0/P_1 値と、対応する各テンドンの α および l を用いて、最少自乗法により、1組の μ, λ 値を求めた。最少自乗法計算式は、この場合、以下のようなになる：

$$\mu = \frac{\sum l^2 \cdot \sum \alpha \cdot \log P_0/P_1 - \sum \alpha l \cdot \sum l \cdot \log P_0/P_1}{\sum \alpha^2 \cdot \sum l^2 - (\sum \alpha l)^2} \dots\dots(2)$$

$$\lambda = \frac{\sum \alpha^2 \sum l \cdot \log P_0/P_1 - \sum \alpha l \sum \alpha \cdot \log P_0/P_1}{\sum \alpha^2 \sum l^2 - (\sum \alpha l)^2} \dots\dots(3)$$

両式に表-3の諸数値を入れて、以下が得られた：

$$\mu = 0.0365 \quad \lambda = 0.00119$$

このように、実測データから求めた μ, λ は、先に引用した推奨値等(表-1)に比べて著しく小さい。

提案値の設定に当たっては、データのばらつきの補償を念頭に置いて、以下の各項を考慮した：

a) 実測データから求めた μ/λ 比(=1/30)を固定し、いくつかの μ, λ 組合わせについて、各テンドンの P_0/P_1 値を逆算し、この計算値に対する実測値の比が、1を越える場合(計算上仮定したよりも実際のまさつ損失が大きくなる場合)が、全テンドン数の約5%になる μ, λ 組合わせを探す。

b) 同上実測値/計算値比が、どのテンドンについても1.05を越えないことを確かめる。

c) テンドン配置上の角変化に対応するまさつ係数 μ は、シーストストランド自身の材料的特性であり、あまり変動は考えられないが、テンドンの予期しない波打ちに対する係数 λ は、現場での配置精度で決まるので、かなりのばらつきが予想される。

そこで、 λ については、上記 a) b) によって求めた値から、その1.5倍の値までを、施工管理水準に応じた推奨幅として与えることとする。これはテンドンの予期しない(しかし避けられない)波打ちを、テンドン長さ1mにつき1/30~1/20ラジアンと見込むことに相当する。

5. μ, λ の提案

アンボンド工法に用いるシーストストランドの、設計時および施工計画時に仮定すべき緊張時まさつ係数として、以下の値を提案する：

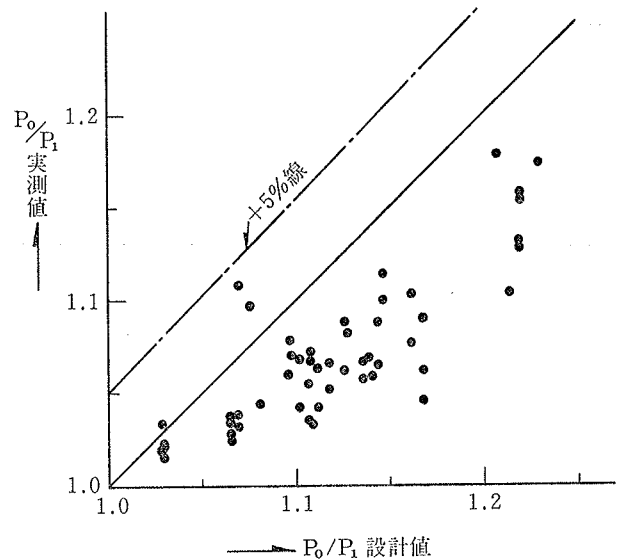


図-2 提案 μ, λ による設計値と実測値の比較

$$\mu = 0.06$$

$$\lambda = 0.002 \sim 0.003$$

図-2は、 $\mu = 0.06, \lambda = 0.002$ を仮定して、今回の実測テンドンに関する P_0/P_1 値を逆算し、その各計算値(設計値)に対する当該テンドンの実測 P_0/P_1 の値の比(表-3参照)をプロットしたものである。前記条件 a), b) が満足されていることが分かるであろう。

謝辞

多数の実測データを提供して下さい、本社建築技術部および特殊工法部の皆さんに謝意を表する次第です。

参考文献

- 1) 神鋼鋼線工業(株) 営業パンフレット：アンボンド工法用シーストストランド、(昭和51年版)
- 2) 住友電気工業(株) 営業パンフレット：SM アンボンド工法、(昭和56年版)
- 3) ACI Committee Report: Commentary on building code requirements for reinforced concrete (ACI 318-77), (Jun. 1978)
- 4) Concrete Society Technical Report No. 17: Flat slabs in post-tensioned concrete with particular regard to the use of unbonded tendons-design recommendations, (Jul. 1979)