鋼線の疲労に関する研究 (第7報)*

(硬鋼線の曲げ疲労における寸法効果)

上 田 太 郎** 朝 倉 健 二**

Investigation on the Fatigue Properties of Steel Wire (Part 7)

(Size Effect in Fatigue Properties of Hard Drawn Steel Wire)

by

Tarō UEDA and Kenji ASAKURA

(Faculty of Engineering, Ōsaka University)

An investigation of the size effect on fatigue strength under bending and on damage properties of hard drawn steel wire has been carried out on 0.4% C ($\sigma_B=130\text{ kg/mm}^2$) and 0.6% C ($\sigma_B=165\text{ kg/mm}^2$) wires ranging in size from 1.2 to 3.3 mm in diameter.

The principal results of this investigation can be summarized as follows:

(1) Fatigue strength of hard drawn steel wires having the same tensile strength decreases with the increase of diameter. Fatigue limit of 1.5 mm wire is 6~8% higher than that of 3 mm wire, and the size effect on fatigue limit is more remarkable at 0.4% C wire than 0.6% C wire.

(2) For the size effect on fatigue limit under rotating bending of hard drawn steel wire, we present the following experimental equation

$$\sigma_{Wd}' = \sigma_{W3}' + m \cdot \log \frac{3}{d}$$

where σ_{Wd}' and σ_{W3}' are respectively fatigue limit of any diameter d and 3 mm diameter wire. m is materialial constant.

(3) Fatigue damage by overstressing is difficult to occur as the wire becomes finer, so the size effect can also be recognized on fatigue damage. (Received July 26, 1963)

1. 緒 言

試験片の寸法, すなわち丸棒ならば直径, 板ならば厚さが変わると曲げまたはねじりの疲労強度が変わるという寸法効果の現象に関しては数多くの報告があり, 熱処理鋼材においては, 試験片直径 5 mm 以上の範囲では直径が大きいくほど疲労限度は低下するが, その低下率は直径の増加につれて小さくなり, ある値以上になると疲労限度はほぼ一定になるとされている。この疲労強度に対する寸法効果の因子としては, 表面欠陥数の相違, 応力こう配の相違, 表面と内部における熱処理や加工の影響の相違, 試験片採取位置の影響, 試験片の温度上昇の相違などが挙げられている。なお, 疲労強度に対する寸法効果に関連して, 試験片の寸法と疲労被害の関係が問題になるが, これに関しては十分に研究されていない現状である。

硬鋼線は用途に応じて種々の線径のものが使用されているが, 通常広く用いられている線径は 5 mm 以下である。しかし疲労強度に対する寸法効果の研究は主として熱処理鋼材の直径 5 mm 以上の範囲について行なわれており, これより細い直径のものについては, 冷間引抜鋼線はもちろんのこと, 熱処理鋼材においてもほとんど研究されていない状態である。このように硬鋼線における寸法効果の研究がほとんど行なわれていない原因としては, 焼鈍材と異なり種々の仕上線径のものに対して等しい静機械的性質を与えることが困難なためである。

そこで本研究においては, 0.4% C および 0.6% C 硬鋼線材よりそれぞれ引張強度のほぼ等しい種々の線径の試料をつくり, これらの硬鋼線について S-N 曲線を求めて疲労限度と線径の関係を明らかにし, ついでこれより硬鋼線の疲労限度に対する寸法効果を表わす実験式に導きこうとした。さらに, これらの疲労被害曲線を求めて, 疲労被害における寸法効果を明らか

* 原稿受付 昭和38年7月26日, 材料学会第10期総会講演会にて講演(昭36.5)

** 正員 大阪大学工学部

にしようとした。

2. 実験試料および実験方法

実験試料は A-33, A-25, A-20, A-15, A-12 および B-30, B-25, B-20, B-15 の 9 種類で, Table 1 に示す化学成分を有する線径 9.5 mm の 0.6 % C 硬鋼線材 A および線径 5.5 mm の 0.4 % C 硬鋼線材 B を各種焼線径まで引き抜き, その各線径において鉛パテンチング処理を施したのち, 試料 A-33~A-12 は全減面率約 84 % で, また試料 B-30~B-15 は全減面率約 70 % で引抜伸線し, 仕上線径は異なるが, それぞれ等しい引張強度 $165 \pm 1.5 \text{ kg/mm}^2$ (試料 A) および $130 \pm 1.5 \text{ kg/mm}^2$ (試料 B) を与えたものである。

試料 A および B の焼線径は Table 2 に示すようにそれぞれ約 $8.6 \sim 3.0 \text{ mm}$ および $5.5 \sim 2.7 \text{ mm}$ であり, 等しい加工度で異なった仕上線径に伸線してほぼ等しい引張強度を与えるためには, 焼線径の大なる試料の焼線引張強度を少し高くしなければならないので, 質量効果を考えて焼入温度, 鉛浴温度および鉛浴時間を適当に選ぶ必要がある。そこで試料 A-33~A-12 に対しては焼入温度を $950^\circ \sim 880^\circ \text{C}$ に, 鉛浴温度を $500^\circ \sim 580^\circ \text{C}$ にとり, また試料 B-30~B-15 に対しては焼入温度を $970^\circ \sim 950^\circ \text{C}$ に, 鉛浴温度を $500^\circ \sim 550^\circ \text{C}$ にとって鉛パテンチングを行ない, 焼線引張強度としてそれぞれ $97 \sim 95 \text{ kg/mm}^2$ および $94 \sim 90 \text{ kg/mm}^2$ を与えた。伸線条件は Table 2 に示すとおりであり, 引抜ダイスのダイス角はいずれも約 14° で, 1 段の引抜減面率はいずれも 20~25 % とした。伸線潤滑剤としてはコーシン (金属石鹸+石灰) を用い, 伸線速度は終

Table 1 Chemical composition (%)

Specimen	C	Si	Mn	P	S
A	0.60	0.26	0.40	0.010	0.018
B	0.41	0.21	0.43	0.012	0.013

Table 2 Drawing condition

Specimen	Diameter (mm)	Total reduction by drawing (%)	Diameter of patented wire (mm)	Number of hole
A-33	3.30	85.0	8.6	10
A-25	2.50	83.5	7.5	8
A-20	2.00	84.0	5.0	8
A-15	1.50	84.5	4.0	9
A-12	1.20	84.0	3.0	8
B-30	3.00	70.0	5.5	5
B-25	2.50	71.5	4.7	5
B-20	2.00	71.0	3.7	5
B-25	1.50	69.5	2.7	5

20 m/min とした。

Table 3 は各試料の静機械的性質を示し, 0.6 % C の試料 A および 0.4 % C の試料 B のいずれにおいても, 各試料はほぼ等しい引張強度, 降伏強度, 伸び, 絞り, 延性を有しており, ヤング率はそれぞれ 20000 kg/mm^2 および 19000 kg/mm^2 と一定であった。しかしねん回値はいずれにおいても線径が大きいほど低く, 寸法効果の現象を示している。Photo. 1 (a) および (b) はそれぞれ試料 A-33 および試料 B-30 の縦断面の顕微鏡組織を示す。

疲労試験はヘイ・ロバートソン式線用回転曲げ疲労試験機を使用し, 試験速度を 5000 rpm とした。疲労試験片の長さは線径の 150 倍にとり, 太い試料ほど長い試験片を用いた。そしていずれも #05 のエメリー紙で特に丁寧に仕上げ, 表面状態を均一にした。

3. 実験結果

(I) 疲労強度に対する寸法効果

Table 3 Mechanical properties

Specimen	Tensile strength (kg/mm ²)	Yield strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Reduction of area (%)	Number of torsion*
A-33	164.0	135.0	1.6	56	37
A-25	165.0	136.0	1.6	54	43
A-20	166.5	138.0	1.6	55	49
A-15	166.0	138.0	1.6	54	51
A-12	166.5	138.0	1.6	55	54
B-30	128.5	106.0	2.0	60	63
B-25	129.0	108.0	2.0	58	68
B-20	131.0	108.0	2.0	58	72
B-15	129.5	108.0	2.0	59	78

$l=200 \text{ mm}$ (* $l=100 \text{ d}$)

(a) A-33 (b) B-30

($\times 150 \times 1/1$)

Photo. 1 Microstructures of specimens

Fig. 1 は A-33～A-12 の各試料について、また、Fig. 2 は B-30～B-15 の各試料について測定した $S-N$ 曲線を示す。これらの図から 0.6% C 線および 0.4% C 線のいずれにおいても、時間疲労強度および疲労限度は線径が小さいほど高い値を示しており、引張強度が等しい線径 3.3 mm 以下の硬鋼線においても、従

Fig. 1 $S-N$ diagrams for various sized 0.6% carbon hard drawn steel wires A ($\sigma_B = 165 \text{ kg/mm}^2$)

Fig. 2 $S-N$ diagrams for various sized 0.4% carbon hard drawn steel wires B ($\sigma_B = 130 \text{ kg/mm}^2$)

Fig. 3 Fatigue limits of various sized hard drawn steel wires

来求められている直径 5 mm 以上の熱処理鋼材と同様に、曲げ疲労強度において寸法効果のあることがわかった。

Fig. 3 はこれらの $S-N$ 曲線より求めた 0.6% C 線および 0.4% C 量線の回転曲げ疲労限度 σ'_w と線径 d との関係を示し、いずれの C 量の硬鋼線においても、線径が増大するにつれて疲労限度は低下している。

Table 4 は線径を異にする各試料の疲労限度 σ'_w 、疲労限度応力比 σ'_w/σ_B ならびに各試料の σ'_w と線径 3 mm の試料の疲労限度 σ'_{w3} との比 $\zeta_3 = \sigma'_w/\sigma'_{w3}$ を示す。ここで ζ_3 を、線径 3 mm を標準試片とした場合の寸法効果係数と名付けておく。なお、0.6% C 線に対する σ'_{w3} の値は Fig. 3 より内挿法によって求め、 48.6 kg/mm^2 と定めた。この表より引張強度が等しい場合、線径 1.5 mm の硬鋼線は線径 3 mm のものよりも 6～8% 高い疲労限度を有していることがわかる。そうして寸法効果係数 ζ_3 はどの線径においても、0.4% C 線の方が 0.6% C 線よりも少し高い値を示しており、寸法効果がより大きいことがわかった。また、疲

Table 4 Fatigue limit σ'_w , fatigue limit per tensile strength σ'_w/σ_B , coefficient of size effect $\sigma'_w/\sigma'_{w3} = \zeta_3$

Specimen	σ'_w (kg/mm^2)	σ'_w/σ_B	$\sigma'_w/\sigma'_{w3} = \zeta_3$
A-33	48.3	0.29	0.99
A-25	49.4	0.30	1.02
A-20	50.5	0.30	1.04
A-15	51.6	0.31	1.06
A-12	52.7	0.32	1.08
B-30	42.0	0.33	1.00
B-25	43.0	0.33	1.02
B-20	44.5	0.34	1.06
B-15	45.2	0.35	1.08

Fig. 4 Fatigue limit versus diameter in logarithmic scale

劣限度応力比 $\sigma_{W'}/\sigma_B$ も 0.4 % C 線の方が 0.6 % C 線よりも少し高い値を示している。

(II) 疲労限度に対する寸法効果の実験式

Fig. 4 は Fig. 3 の横軸 d を対数目盛に書き換えたもので、この図から 0.6 % C 硬鋼線および 0.4 % C 硬鋼線のいずれにおいても、引張強度が等しい場合には線径 1.2~3.3 mm の範囲において、回転曲げ疲労限度と対数で表わした線径の間にはほぼ直線的な関係があり、しかも両者の直線はほぼ平行であることがわかった。したがって、引張強度がほぼ等しい硬鋼線の線径 d と疲労限度 $\sigma_{Wd'}$ の関係を表わす寸法効果の実験式として次式が得られた。

$$\sigma_{Wd'} = \sigma_{W3'} + m \cdot \log \frac{3}{d} \quad (1)$$

ここで $\sigma_{W3'}$ は直径 3 mm の線の回転曲げ疲労限度であり、また m は Fig. 4 に示した直線のこう配で、これらの 0.6 % C 線および 0.4 % C 線に対しては $m=10 \sim 11$ である。

最近、機械学会分科会¹⁵⁾は炭素鋼および合金鋼 (Si-Mn 鋼, Si-Mn-Cr 鋼を除く) の平滑試片についての寸法効果に関する資料を整理し、直径 10 mm 以上の試片に対する回転曲げ疲労における寸法効果の実験式

として次式を提示している。

$$\zeta_{10} = \frac{\sigma_{Wd'}}{\sigma_{W10'}} = 1 - \frac{\sigma_{W10'}}{\sigma_B} (0.522 e^{-5.33/d} - 0.306) \quad (2)$$

ここで ζ_{10} は寸法効果係数で、任意直径 d の平滑試片の疲労限度 $\sigma_{Wd'}$ と直径 10 mm の標準平滑試片の疲労限度 $\sigma_{W10'}$ との比を表わす。(2)式において疲労限度応力比 $\sigma_{W10'}/\sigma_B$ を用いたのは、炭素鋼と合金鋼の相違をなくすのに都合がよいからであるとしている。

(2)式は疲労限度応力比 $\sigma_{W10'}/\sigma_B$ の大きい材料ほど寸法効果係数 ($\zeta < 1$) が小さくなり、寸法効果が大きいことを示しているが、本実験においても Table 4 に示したように、疲労限度応力比 $\sigma_{W3'}/\sigma_B$ の大きい 0.4 % C 線の方が 0.6 % C 線よりも寸法効果係数 ($\zeta > 1$) が大きく、寸法効果が大きいという結果が得られている。

(III) 疲労被害における寸法効果

Fig. 5 (a), (b), (c) はそれぞれ線径 3.3 mm, 2.0 mm, 1.5 mm の試料 A-33, A-20, A-15 について、また Fig. 6 (a), (b), (c) はそれぞれ線径 3.0 mm, 2.0 mm, 1.5 mm の試料 B-30, B-20, B-15 について測定した疲労被害線図を示し、各図において実線は S-N 曲線を、破線は疲労被害曲線を表わす。

Fig. 5 Damage diagrams for various sized 0.6 % carbon hard drawn steel wires ($\sigma_B = 165 \text{ kg/mm}^2$)

Fig. 6 Damage diagrams for various sized 0.4 % carbon hard drawn steel wires ($\sigma_B = 130 \text{ kg/mm}^2$)

これらの図において被害曲線は $S-N$ 曲線とは平行でなく、過大応力が小さくなるにつれて $S-N$ 曲線に接近している。しかも小線径のものほど被害曲線は $S-N$ 曲線に近づき、両者で囲まれる疲労被害域が狭くなっている。また、線径が等しい場合、引張強度の大きな $0.6\%C$ 線の方が $0.4\%C$ 線よりも、その被害曲線は $S-N$ 曲線に接近している。この実験結果は、顕微鏡的ないし磁気的方法などによって検出可能な微視的き裂が発生する繰返数と応力振幅の関係を示すクラック曲線は応力振幅が高いほど、試片直径が小さいほど¹⁶⁾、またたいたい材料ほど $S-N$ 曲線に近接しているという実験結果と類似した傾向を示している。

Fig. 7 および Fig. 8 はそれぞれ Fig. 5 および Fig. 6 の各疲労被害線図より求めた $0.6\%C$ 線と $0.4\%C$ 線の被害繰返数比(被害率 0 の最大繰返数比)と過大応力の超過率との関係を示す。これらの図から、いずれの C 量の硬鋼線においても、線径の大小にかかわ

Fig. 7 Relation between excess ratio of overstress and cycle ratio at fatigue damage for various sized $0.6\%C$ wires

Fig. 8 Relation between excess ratio of overstress and cycle ratio at fatigue damage for various sized $0.4\%C$ wires

らず、被害繰返数比は過大応力の超過率の増加に伴ない低下することがわかる。また、小線径のものほど各超過率における被害繰返数比は大きくなり、しかも Fig. 5 および Fig. 6 に見られるように、線径の大小にかかわらず同じ超過率の過大応力による破断繰返数はほぼ等しいので、小線径のものほど過大応力による疲労被害を受け難いことがわかった。すなわち、疲労被害においても寸法効果のあることが認められた。

4. 考 察

(I) 疲労強度に対する寸法効果の考察

疲労強度に対する寸法効果の原因としては種々の因子が挙げられるが、硬鋼線に対する寸法効果の主要原因としては表面欠陥数の相違と応力こう配の相違が考えられる。

硬鋼線の表面にはいかに注意して製線しても微小な表面傷は避けられず、また、本実験試料のように各線径の試片の表面状態を均一にするためにエメリー紙でていねいに仕上げてても微細な凹凸は避けられない。この製線に伴う微小な表面傷ならびに介在物などの統計的分布を有する欠陥の数は、線の最大応力部の表面層の体積とともに増加するので、大線径のものほど小線径のものに比べて疲労強度の低下する確率が大い。なお、製線管理が不十分な場合にはこの限りではない。そうしてこのような表面欠陥を有する硬鋼線に曲げの外力が加わった場合、その表面からある深さ h までの表面層に応力集中の影響があるとすれば、この表面層に作用する平均の応力 σ_0 は Fig. 9 に示すように応力

Fig. 9 Mean stress σ_0 ($\sigma_{01} > \sigma_{02}$) applying to outer layer

こう配 $2\sigma/d$ の小さい大線径の方が大きくなるので ($\sigma_{01} > \sigma_{02}$), 曲げ応力 σ が等しい場合には大線径のもののほど外力の影響が大きくなる。したがって, 硬鋼線においてはこの両者が主として作用しあって寸法効果を生ずるのである。

(II) 疲労被害における寸法効果の考察

疲労の進行過程は通常 4 段階もしくは 3 段階に分けて考えられている。すなわち, 第 1 段階は負荷開始後加工硬化が完了するまでの期間, 第 2 段階は加工硬化完了後超微視的き裂が発生するまでの期間, 第 3 段階は超微視的き裂が認知検出可能な大きさのき裂に達するまでの期間, 第 4 段階はこの認知可能なき裂が生長拡大して最後の破壊に至るまでの期間である。なお, 3 段階に分ける場合には第 3 および第 4 段階を 1 段階として考えている。

この第 2 段階における超微視的き裂の発生と疲労被害曲線で表わされる被害率 0 の最大繰返数, すなわち被害繰返数との関連性の解明は重要な課題であり, 従来種種論議されてきたが確定的なものはないので, 筆者らは被害繰返数は超微視的き裂発生繰返数とほぼ一致するものとみなし, 第 1・第 2 段階を無被害域(被害率 0), 第 3・第 4 段階を被害域としておく。なお, 硬鋼線は著しく冷間加工されているので, 焼鈍したものに比べて降伏強度が非常に高く, そのため繰返応力を受けても硬度の増加は認められない。一般に加工硬化の第 1 段階は全寿命のうちのきわめてわずかな部分のみを占めるとされているが, 特に硬鋼線においては無視し得るほどであるので, 硬鋼線において無被害域の繰返数を論ずる場合には第 2 段階のみを考えればよい。

さて, 小線径のもののほど曲げ疲労限度が高くなるので, 同じ超過率に対する過大応力の大きさ(表面最大応力)は小線径のもののほど大きくなるが, 一方小線径のもののほど応力こう配が大きくなるので, この表面最大応力の相違による影響と応力こう配の相違による影響とがほぼ相殺し合うものと仮定し, 表面よりある深さまでの表面層に作用する平均応力 σ_0 がほぼ等しくなるとすれば, 硬鋼線の疲労被害における寸法効果は表面欠陥の相違について考えればよい。そこで線径 d_1 および d_2 ($d_1 > d_2$) の硬鋼線について, 繰返応力の大きさ σ_0 および破断繰返数が等しい場合の各疲労進行過程は Fig. 10 に示すようになるとして本実験結果を説明する。

すなわち, 表面傷や介在物などの表面欠陥数は前述のように大線径のもののほど大であり, しかもこれらの表面欠陥部に超微視的き裂が生成しやすいものとすれば, 超微視的き裂が形成されるまでの繰返数, すなわち無被害域の繰返数は, 大線径 d_1 の方が小線径 d_2 のものより小となる。一方, 超微視的き裂が形成された

のち, これが成長して破断に至るまでの第 3・第 4 段階, すなわち被害域の繰返数は断面積の大きな大線径のものの方が大きくなる。したがって, 全寿命において無被害域(第 1・第 2 段階)の占める割合と被害域(第 3・第 4 段階)の占める割合の比率は, Fig. 10 に示すように小線径 d_2 の方が大線径 d_1 のものより大きくなり, 引張強度が等しい場合, 小線径のもののほど同じ超過率の過大応力に対して被害を受けにくいことがわかる。

5. 総 括

本研究は引張強度をほぼ等しくした線径 1.2~3.3 mm の 0.6% C 硬鋼線 ($\sigma_B = 165 \text{ kg/mm}^2$) および 0.4% C 硬鋼線 ($\sigma_B = 130 \text{ kg/mm}^2$) について, 線径と回転曲げ疲労限度ならびに線径と疲労被害繰返数比との関係を求め, 硬鋼線の曲げ疲労強度ならびに疲労被害に対する寸法効果を明らかにした。

実験結果を総括すると次のようになる。

(1) 0.6% C 線および 0.4% C 線のいずれにおいても, 引張強度が等しい場合, 線径 1.2~3.3 mm の範囲において, 従来求められている直径 5 mm 以上の熱処理材と同様に, 曲げ疲労強度に対して寸法効果のあることを見出した。そうして線径 1.5 mm の硬鋼線は線径 3 mm のものよりも 6~8% 高い疲労限度を有している。

(2) 疲労限度応力比の大きな 0.4% C 線のほうが 0.6% C 線よりも, 疲労限度に対する寸法効果が大きい。そうして硬鋼線の曲げ疲労強度に対する寸法効果の原因としては, 線径に基づく表面欠陥数の相違ならびに応力こう配の相違が考えられる。

(3) これらの硬鋼線の曲げ疲労限度に対する寸法効果の実験式として次式を得た。ただしこの式の適用範囲は 1.2~3.3 mm である。

$$\sigma_{wd}' = \sigma_{w3}' + m \cdot \log \frac{3}{d}$$

ここで σ_{wd}' および σ_{w3}' はそれぞれ任意の直径 d および標準の直径 3 mm の線の回転曲げ疲労限度を, また

Fig. 10 Fatigue processes of hard drawn steel wires having the same tensile strength

m は材料により定まる定数で、これらの線に対しては10~11である。

(4) いずれのC量の硬鋼線においても、線径の大小にかかわらず、被害繰返数比は過大応力の超過率の増加に伴い低下する。また、同じ超過率の過大応力に対しては線径の大小にかかわらず破断繰返数がほぼ等しく、しかも小線径のものほど被害繰返数比は増加するので、小線径のものほど過大応力による疲労被害を受けにくくなり、疲労被害においても寸法効果が認められた。

終りに、本研究に鋼線を提供して下さった元大日製鋼株式会社社長山本利一氏ならびに実験に協力された大阪大学学生米田喜一君に厚く感謝致します。

参 考 文 献

1) R.E. Peterson, ASME, Trans., 55, 79 (1933)

- 2) F. Faulhaber, Stahl u. Eisen, 53, 1108 (1933)
- 3) R.E. Peterson and A.M. Wahl, Appl. Mech. J., 58, A-146 (1936)
- 4) E. Lehr and R. Mailänder, Archiv. Eisenhüttenw., 9, 31 (1935/36)
- 5) E. Lehr, Prüfen u. Messen, VDI-Verlag, 158 (1937)
- 6) H.F. Moore and D. Morkovin, ASTM, Proc., 42, 145 (1942)
- 7) 小野, 田川, 機械学会論文集, 12, 42, 36 (1946)
- 8) M. Hempel, Archiv. Eisenhüttenw., 22, 427 (1951)
- 9) 中村(宏), 鉄道業務研究資料, 8, 18 (1951)
- 10) 河本, 春本, 材料試験, 3, 14, 214 (1954)
- 11) 永島ほか, 住友金属, 7, 3, 123 (1955)
- 12) 大内田, 機械学会誌, 62, 484, 722 (1959)
- 13) 大内田, 機械学会誌, 64, 505, 263 (1961)
- 14) 星野, 新井, 機械学会論文集, 25, 155, 528 (1959)
- 15) 機械学会分科会報告, 機械学会誌, 63, 502, 1525 (1960)
- 16) H.F. Moore, Univ. of Illinois Eng. Exp. Sta. Bul., No. 165 (1927)
- 17) A.V. de Forest, Appl. Mech. J., 58, A-23 (1936)
- 18) 横堀, 機械学会誌, 58, 712 (1955)
- 19) T.J. Dolan, Metal Fatigue. 39 (1959)

(776頁より)

コンクリートの引張強度 (Tensile Strength of Concrete) By D.J. McNeely and S.D. Lash, Journal of the American Concrete Institute, Vol. 60, No. 6, pp. 751~761 (June 1963)

コンクリートの引張強度は一般に非常に小さいが、構造物を設計する上においてこれを無視することはできない。現在各国で行なわれている引張強度試験は、直接引張試験、曲げ試験および引張強度係数試験(割裂試験)である。コンクリートの曲げ試験によって求められる引張強度は供試体の寸法、荷重の分布状況(中央1点載荷、3等分点載荷)および載荷速度などによってその強度が異なってくる。

著者は曲げ引張強度と引張強度係数試験に注目して、前者に及ぼす影響として、加圧、載荷速度、低温を取り上げ、さらに曲げ強度と引張強度係数との比を実験的に求めている。

得られた結果を要約すると、

(1) 引張強度(曲げ引張強度)に及ぼす初期加圧の影響は顕著でない。とくに28日間加圧した場合はほとんど差は現われないが、7日間加圧した場合は加圧供試体の方が若干引張強度が小さく現われる。

(2) 載荷速度と引張強度との関係は次式で表わされる。

$$f_t' = 400 + 54 \log_{10} R \text{ (psi)}$$

R は1~10 000 psi/min の範囲である。

(3) 引張強度は室温よりも低温の方が大きくでた。

(4) 引張強度係数試験(割裂試験)は、引張強度を求めるという点においては他の試験方法よりも優れており、しかもばらつきが少ない。

(5) この試験に使用したコンクリートでは、引張強度係数試験から得られた引張強度は曲げ強度の66%である。(西林新蔵)

膨張セメントを使用したコンクリートの化学的プレストレスングについて (Chemical Prestressing of Concrete Elements Using Expanding Cement) By T.Y. Lin and Alexander Klein, Journal of American Concrete Institute, Vol. 60, No. 9, pp. 1187~1218 (Sep. 1963)

プレストレストコンクリートは一般に高張力PC鋼材を緊張してコンクリートに応力を導入するが、コンクリートに膨張セメントを配合すると、その化学作用によってコンクリート自身に直接応力を生ぜしめることができる。

膨張セメントは、 C_3S の含有量の多い C_3A の含有量の少ないポルトランドセメントに膨張剤としてアルミン酸石灰塩のクリンカーを粉碎し調合したものである。著者らはこの膨張セメントを使用して、圧力管、はり、1方向鉄筋コンクリート版、2方向鉄筋コンクリート版、シェルなどを製作し、化学的プレストレスの効果について実験を実施した。実験によって得られた圧力管および版の力学的挙動ならびに強度について、普通の弾塑性理論に基づいて計算した理論値と比較し検討を加えた。

この考察の結果、膨張セメントの化学的プレストレスを利用した圧力管およびフラットスラブは、理論値ときわめてよく一致していることが明らかとなった。

(西林新蔵)