

上前, 長田, 松野 3 氏の

「ディビダーク工法を施工して」に対する私見 (その 1)

片持バリ工法として知られている Dywidag 工法 (以下 DW 工法と略記) は, 型ワク支保工なしに大スパンの PC 橋梁を架設する特異な工法として, わが国でも広く注目されているものである。神奈川県嵐山橋において DW 工法が始めて採用され, 貴重な研究資料や施工経験が本誌第 1 巻第 2 号および第 4 号に発表されたことは^{1), 2)}, 今後の本工法の普及にきわめて有意義であると考え。とくに, 本誌第 1 巻第 4 号に発表された「ディビダーク工法を施工して——現行 PC 指針の改正を必要とする点について」と題する上前, 長田, 松野 3 氏の論文³⁾ には, 実際施工にあたっての現行 PC 指針における問題点について貴重な討論を発表されており, 単に DW 工法ばかりでなく一般の PC 構造の設計および施工にとって大いに参考になるものと考え。しかし, 日本材料試験協会編: 鋼棒使用 PC 設計施工指針³⁾ の原案作成者としての著者は, 上前氏らの現行 PC 指針の改正を必要とする点についての討論といささか異なった意見を持ち合わせるので, 原案作成者としての著者の考えの立脚点を明らかにする意味で, 上前氏らの前記論文に対する私見を発表し, 今後の PC 設計施工指針の合理的改正の一助としたいと考える。

1. 現行 PC 指針の意義と立場

上前氏ら 3 氏の論文³⁾ において指適されている, 現行 PC 指針の改正を必要とする問題点はつぎの 15 項目である。

1. セメントの品質規格
2. コンクリートの品質
3. PC 鋼棒の品質
4. アンカー部の品質試験
5. プレストレスをあたえてよいときのコンクリート強度
6. プレストレッシングについての注意
7. 最小単位セメント量
8. コンクリート打ちについて
9. コンクリートの養生
10. PC 鋼棒に引張力をあたえる方法
11. グラウトについて
12. 部材設計の方針
13. 地震力および不等沈下に対する許容応力および安全率について

14. 定着端付近の許容応力度について

15. PC 鋼棒の許容引張応力度について

これらの問題点について著者の意見を述べる前に, 現行の PC 指針の意義, または立場を明らかにしておく。ただし, 以下においては日本材料試験協会編: 鋼棒使用 PC 設計施工指針 (以下単に PC 指針と略称する) についてだけ述べることにする。土木学会制定 PC 設計施工指針については, 現在土木学会で改訂中であり, また, 著者はこれの原案作成には関係していないので, ここではふれないことにする。

さて, PC 指針の作成にあたって, 著者の最も苦心した点は, 土木構造物にも建築構造物にも広く利用できるものにしたいという点である。このためには多種多様の構造物の設計および施工の諸条件を広く考慮して, これらの平均値的な指針とするのが最も望ましいと考える。特定の構造または工法に対する指針であれば, これらの特質もそこなわない合理的な指針を詳細に決めることができたであろうが, 上記のように広範囲のものを対象とするかぎり, どの構造物にも合理的に適用できる指針とすることは, きわめて困難である。広範囲な指針として細部にわたり詳細に規定することよりも, むしろ, 大まかな方針をあたえ, 利用者に鋼棒使用 PC の正しい概念や考え方を示すような指針とするのが, 著者の原案作成のねらいであった。したがって, PC 指針に示された各条項を杓子定規に守って設計施工を行えというのではなく, それぞれの構造物または施工方法の特性をよく考えて, 技術者が独自の研究や見解を指針の中に折り込んで設計施工されんことこそ, 著者の最も望むところである。もちろん, これらの独自の研究や見解が設計された構造物に対して合理的でなければならぬことはいままでもない。DW 工法のような一般の PC 工法と異なった特別の工法に対しては, それの特質を十分に生かした設計や施工方法を採用されて, なんらさしつかえないのであって, 上前氏らのいわれるように, DW 工法は DIN 4227 に準じて設計施工されるべきだとして, 日本の PC 指針を DIN 4227 の規定方針と全く一致させなければならぬということはないと考える。われわれは日本の材料を使用して施工するのであるから, むしろ日本における

討 議

諸条件に適した方法で、独自の設計なり施工計画なりを考えるべきではなからうかと思われる。このような立場から、著者は上前氏らの論旨にいきさか賛成しかねる点があるわけである。

以下紙数の都合上現行指針の条文は省略するので、本誌第1巻第4号²⁾またはPC指針³⁾を参照されたい。

2. セメントおよびコンクリートの品質について

〔現行指針〕第3条 セメント

〔改正の必要な点〕セメントは原則として普通セメントを使用し、また混和剤について規定を設けること。

〔現行指針〕第5条 コンクリートの品質

〔改正の必要な点〕指針の σ_{28} の最低値をより低くし、立方体供試体と円柱供試体との強度関係および、おのおのの場合の品位の表わし方の違いを明確にすることが必要である。

以上はセメントおよびコンクリートの品質に関するPC指針の条文とこれに対する上前氏らの改正意見である。まず、セメントの品質であるが、上前氏らはDINによればZ 225, Z 325, Z 425であるのに対し、現在使用されているわが国のセメントは普通ポルトランドセメントがほぼZ 325にあたり、早強ポルトランドセメントはDIN規格を上まわるものであるから、一般には普通ポルトランドセメントを使用するのがよいと述べられている。DIN 1164によればZ 225, Z 325, Z 425のセメント規格は誤りであって、Z 275, Z 375およびZ 475が現在は規格されている。これらの曲げおよび圧縮強度規格値とJIS規格値とを比較すると、図-1のとおりであって、むしろ、JIS規格によるセメン

ト強度はDIN規格によるものよりかなり下まわっているといえる。もちろん、JISとDINとのセメント規格試験における配合および水セメント比の相違の影響を考慮しなければならない。とくに、水セメント比はJISが65%に対しDINでは60%であるから、DINによるセメント強度が上まわるのは当然であるが、これを考慮したとしてもJISによる普通ポルトランドセメントの規格強度はZ 275、早強ポルトランドセメントではZ 375程度の品質のものと同価と考えられ、上前氏らのようにわが国の早強ポルトランドセメントはDIN規定外のものであるとするのは、あたらないように考える。もちろん、わが国のセメント強度の実状は図-1にも示したようにJIS規格をはるかにこえる高強度のものが多いが⁴⁾、それでもZ 375またはZ 475と同等の品質の範囲内には入るものと考えられる。

また、上前氏らによると早強セメント使用時には、ポステン時期を決定する式

$$W/1.15 W_{28} = 0.75 \dots\dots\dots(1)$$

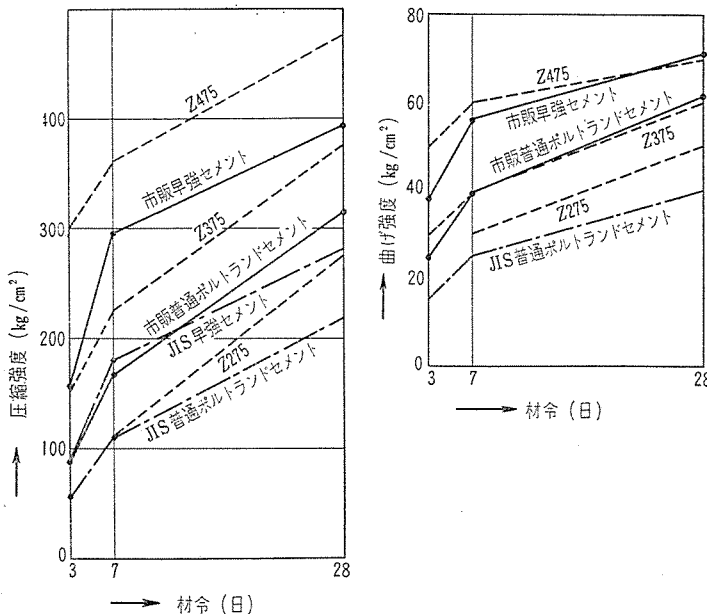
W: プレストレス導入を行なってよいときのコンクリート 20 cm 立方体強度

W_{28} : 材令 28 日コンクリート 20 cm 立方体強度

における常数はそのまま使用できないから、材料自身はなるべくDIN規格にあるものを使用するのがよいとしているが、ポステン時期は(1)式で決める必要はないし、また、(1)式で決めるのが最もよいという根拠はどこにもない。後述するようにプレストレスを導入してよいときのコンクリート圧縮強度は、プレストレス導入時におけるコンクリートの最大圧縮応力度、プレストレス導入時のコンクリート許容圧縮応力度(普通は材令28日圧縮強度を標準として決められる)を考慮し、かつ、コンクリートのクリープ、弾性係数などを考慮して決め

られるべきものであり、これらを考慮した上での妥当な数値でなければならないはずである。コンクリートのクリープおよび弾性係数は使用セメントが普通ポルトランドセメントでも早強ポルトランドセメントでも実用的にはプレストレス導入時のコンクリート強度とコンクリート最大圧縮応力度との比によって、ほぼ一義的に決定できるものであり、この意味からは、DINのポステン時期決定式(1)でも W_{28} (または $1.15 W_{28} = \text{立方体強度最終値 } W_{\infty}$)だけを基礎にして決定するものであるかぎり、妥当であるとはいえない。プレストレス導入時のコンクリート強度がそのときのコンクリート断面の最大圧縮応力度の何倍でなければならないというように規定するのが最も妥当であり、現行

図-1



PC指針には第17条(後述)にこれが規定してある。したがって、セメント強度は現行のJIS規格に合致するものであるかぎり、ポルトランドセメントであれば何を用いても問題はないはずである。いたずらにDIN規格に合致するよう改正する必要はない。

混和剤に関する規定を入れることは一向きしつかえない。PC指針にあえて規定しなかった理由は、指針立案当時は品質の信頼できる良質の混和剤がみあたらなかったためでもあるが、著者は混和剤の使用に関しては責任技術者の許可または承認によって、規定にはなくても自由に使用して戴ければよいと考えており、今後の各種混和剤の発展、普及にブレーキをかけないためにも、あまり具体的な規定を設けたくないと考えている。

つぎに、コンクリートの品質規定であるが、上前氏らの意見ではDINにおける20cm立方体強度規格B300以上を15×30cm円柱強度に換算した強度240kg/cm²以上とすべきだとし、かつ、ST67/100の品質を持つPC鋼棒を用い、第1種設計荷重で設計する場合、この値以上のコンクリートを使用することは工期を早くする目的以外に何の意味もないと述べておられる。これは橋梁のような比較的簡単な構造物で、死荷重が全設計荷重に対してかなりのウェイトを持つようなものに対していえることであって、建築構造物のような複雑な構造物では死荷重よりも活荷重の方がいちじるしく大きいのが普通であるから、コンクリート圧縮強度が240kg/cm²では、経済的に損である。これは建物自重をできるだけ軽くすることと矛盾するものであって、建物自重の大巾な軽減のためには、セメント量が多くなっても、できるだけ高強度のコンクリートを採用するのが得策である。高強度コンクリートの使用によってPC部材の単価は高くなっても、建物の軽量化からくる他の構造材(たとえば基礎など)の節約が大巾にも行なえるのが普通である。土木構造物においても上記のことはある程度いえるのではなかろうか。

また、PC指針における $\sigma_{28}=300\text{ kg/cm}^2$ 以上という規定はDINを参考にしたものではないので、立方体強度とシリンダー強度との関係を明示する必要はない。わが国においてはあくまでもJIS規格によるコンクリート圧縮強度試験を基礎にすべきであって、DINでは立方体強度試験を採用しているからといって、これに義理立てする必要はない。強度のちらばりを考慮した品位の表わし方は σ_{28} 規定値に盛り込むことは賛成である。しかし、一般の現場ではコンクリート強度試験結果の平均値が、 σ_{28} 規定値を上まわれればよしとする場合が多く、また、建築現場ではコンクリートの品質管理が十分に行なわれることは、きわめてまれであるので、品質のちらば

りがかなりあると思われ、したがって、PC指針ではこれを考慮して $\sigma_{28}=300\text{ kg/cm}^2$ 以上という値を採用して安全を期している。

なお、 σ_{28} をあまり小さくすると部材の破壊時のネバリが少なくなる傾向があり⁹⁾、また、プレストレス導入時に定着端コンクリートブロックに割裂ヒビワレがおこったり破壊したりする危険がコンクリート強度にほぼ比例して増すこともあわせ考えなければならない。PC鋼材の品質も現行指針第4条解説に述べてあるように、引張強度80~135kg/mm²、降伏点応力度65~110kg/mm²に至る4種のもが実際に使用されているから、DW工法に使用するST67/100鋼棒の使用だけを考慮して σ_{28} 値を下げることは、鋼棒引張強度の完全利用の点からは適当とは考えられない。

3. PC鋼棒について

[現行指針] 第6条 PC鋼棒

[改正の必要な点] 引張強度および降伏点だけでなくこれらの値の比を規定しなければならない。また、疲労に関する規定を必要とする。

[現行指針] 第40条 PC鋼棒の許容引張応力度

[改正を必要とする点] 許容応力度は降伏点の75%、破断強度の55%という工合に両方を考えてその小さい方で決める。また、部材によってくり返し応力を受けるようなときには、疲労も考えて決定するように規定しなければならない。

引張強度に対する降伏点の比すなわち降伏比を規定する必要があるとのことであるが、これはPC鋼棒の製造方法がただ一種類だけになれば妥当である。しかし現在わが国で使用されている鋼棒には、DW工法に使用する圧延鋼棒のほかに引抜鋼棒および熱処理鋼棒があり、これらの降伏比を一義的に決めることはできない。これはこれら各種の鋼棒の比例限界以後の応力-ヒズミ曲線の様相がいちじるしく相違するからであって、降伏比も表-1に示すように圧延鋼棒では76~82%に対し、引抜鋼棒では81~92%、熱処理鋼棒では81~88%に達する。したがって、PC指針では引張強度、降伏点などの最低限界値だけを本文に規定し、実際に使用するPC鋼棒についての諸数値は解説中に示してある。

表-1はこれを示すもので、現在使用されている鋼棒は表-1の品質規定値の範囲内にはいる。

また、PC鋼棒の許容引張応力度はDINでは引張強度の60%および降伏点の75%のうちの小さい方をとることになっているが、PC指針では鋼棒の製作方法によって降伏比が異なってくることから、鋼棒の許容引張強度の決定は降伏点応力を基準にとることにしてある

表-1 国産 P C 鋼棒品質保証値

種別	抗張力 (kg/mm ²)	降伏点 (0.2 % 永久のび応力度) (kg/mm ²)	許容応力度 (0.7×降伏点) (kg/mm ²)	伸び (%)	
圧延鋼棒	1種	> 85	65(76.5% T.S.)	45(69.3% Y.P.)	>8.0
	2種	>105	80(76.2 ")	55(68.8 ")	>7.0
	3種	>120	95(79.2 ")	65(68.4 ")	>6.0
	4種	>135	110(81.4 ")	75(68.2 ")	>5.0
熱処理鋼棒	1種	> 80	65(81.2% T.S.)	45(69.3% Y.P.)	>5.0
	2種	> 95	80(84.2 ")	55(68.8 ")	>5.0
	3種	>110	95(86.4 ")	65(68.4 ")	>5.0
	4種	>125	110(88.0 ")	75(68.2 ")	>5.0
引抜鋼棒	1種	> 80	65(81.3% T.S.)	45(69.3% Y.P.)	>5.0
	2種	> 90	80(88.9 ")	55(68.8 ")	>5.0
	3種	>105	95(90.5 ")	65(68.4 ")	>5.0
	4種	>120	110(1.7 ")	75(68.2 ")	>5.0

(第 40 条)。

なお、降伏比があまり小さくなることは好ましくないとしているが、これは降伏点応力を鋼棒許容引張応力度決定の基準とするかぎり、降伏比が小さくなくてもさしつかえない。ただ、あまり小さくなりすぎると鋼棒引張耐力の利用率が悪くなるので不経済となるが、現在使用されている P C 鋼棒では降伏比がそれほど小さくはならないので、規定する必要はないと思われる。

疲労に関する規定は必要であると考え。ただし P C 鋼材に対してではなく、P C 部材に対するものである。その理由は、たとえば曲げ材では設計荷重の変動による P C 鋼棒引張応力度の変動はきわめて微少であり、たとえば載荷荷重 0 から、第 1 種設計荷重までの片振り返し載荷を行なったとしても、P C 鋼棒引張応力度の変化は 0~5 kg/mm² 程度であり、したがって第 1 種設計荷重のもとでは、P C 鋼棒が疲労破壊によって切断することはないと考えられるからである。このことは著者の行なった実験によっても明らかにされている^{6),7)}。また小西博士らの実験⁸⁾では鋼棒使用 P C バリでは、静的ヒビワレ荷重の 1.3 倍以上の荷重までの片振り返し載荷の場合に始めて 16 万回疲労耐力以内となることが報告されている。この場合でもコンクリートの疲労破壊による破壊が主としておこり、鋼棒ネジ部の破断による破壊が一例だけであったという。

なお、P C 鋼棒の疲労破壊は鋼棒母体部分よりも、応力集中の比較のおこりやすい定着端または継手ネジ部においておこると考えられる⁹⁾。したがって、疲労耐力の規定としてはネジ部に対して決定すべきであると考え。ドイツにおいては DIN 4227 に関連する各種 P C 鋼棒の使用認可、ならびに受渡しに対する試験の暫定指針⁹⁾が発表されており、くり返し荷重による定着端の試験として、長さ約 2m の P C バリのくり返し載荷試験によるか、または、可能な場合には定着具と P C 鋼材と

の取りつけ部にパルセーターで実際におこる P C 鋼材引張変動もあわせて試験することになっている。後者の試験は試験材の容量、供試体取り付けの難易などによって、実際に試験を行なうことが困難な場合が多いので、実用上は P C バリのくり返し載荷試験を採用するのがよいと考えている。なお、暫定指針には疲労試験の判定規準にはふれていない。

4. アンカー部の品質試験について

[現行指針] 第 14 条 アンカー部の品質試験

[改正の必要な点] DW プレートと日本製のものとを比較し、変形に関する制限を数量的に明確にすること。

この問題に対しては現行 P C 指針は DW 工法だけに限られたものではないから、規定の中に DW プレートと日本製プレートとの品質を比較して変形の制限を設けることは行ないたくない。DW 製、日本製の品質比較はむしろ現場技術者の問題であり、一般指針としての P C 指針でこれにふれることは面白くない。現場技術者の判断にまかせるのがよいと考える。ただし、変形に関する制限を数量的に示すことは原則的には賛成である。しかし、制限数値をどの程度にすべきかは、きわめて難問題であって、プレートの形状、品質、プレートの配置間隔、コンクリートの品質、定着端断面形、プレストレス力の大きさなどにより千差万別であるから、上前氏らのいわれるように変形制限数値も簡単にはあて得ない。従来から慣用されている定着プレートであれば、その定着効果を試験によって確かめることは、一般的に言って不要であると考え。新しい形式や試みのものについては、試験によって定着効果が十分であることを確かめておくことは必要であるが、著者の考えでは試験結果の判断は担当技術者において行なうべきであると考え。なお、DIN 4227 に関連する使用認可ならびに受渡しに対する試験の暫定指針⁹⁾によれば、P C 鋼材および定着に関する試験片は実際工事に使用するのと同等の寸法、および作業によって製作したものとし、コンクリートの品質は実際に使用するコンクリートの最低強度の 2/3 をこえないものとして試験を行なうことになっている。試験は静的および、くり返し載荷試験の両方を行なうことになっており、静的試験では供試体の一般的挙動（ヒビワレの発生状況、破壊の様相など）と定着具と P C 鋼材の間の滑りを観測することになっている。くり返し載荷試験は 3. で述べたようにして行なう。

このほかクリープ試験なども行なうことになっている。しかし、これらの試験結果の判定方法には全くふれていない。

5. プレストレスを与えてよいときのコンクリートの圧縮強度について

〔現行指針〕 第 17 条 プレストレスをあたえてよいときのコンクリートの圧縮強度

〔改正の必要な点〕 250 kg/cm^2 以上の規定は不要である。

上前氏らの論旨は DW 工法で B 300 (シリンダー強度 $\sigma_{28}=240 \text{ kg/cm}^2$) を使用するとき、DIN 規格によるとプレストレス導入時強度は $W=260 \text{ kg/cm}^2$ (シリンダー強度 $\sigma=210 \text{ kg/cm}^2$) となって、 $\sigma=250 \text{ kg/cm}^2$ 以上の規定に合わすことができない。とくに DW 工法では、材令 2 日程度で所要コンクリート強度を發揮させることが必要であるから、 $\sigma \geq 250 \text{ kg/cm}^2$ の規格に合致させるためには B 640 くらいのコンクリートが必要であるとされている。これはきわめて一方的な論議であって、現行の PC 指針では $\sigma_{28} \geq 300 \text{ kg/cm}^2$ であることが要求されているし、また、DW 工法では材令 2 日程度で、プレストレス力を与えてよいときのコンクリート強度所要値を發揮させなければいけない施工上の要求があるので、このような特別の場合をもとにして規定値を改正することには反対である。上前氏らも述べているように、このような制限数値はコンクリートのクリープを考慮して行なわなければならない。とくに弱いコンクリートを使用する場合には、PC 鋼材使用量もふえるので、たとえ単位セメント量が少なくなっても、クリープによるプレストレス力減退量が大きくなる傾向があり、したがって、プレストレス導入時の最小コンクリート強度制限値を設けておく必要があるものと考えられる。また、DW 工法のように工事の進行に従って各工事区分ごとに PC 鋼棒のプレストレス導入を周期的に行なってゆくものでは、工事区分の施工が進んでキャンティレバーが伸びてゆくに従って、緊張定着の完了した PC 鋼棒の本数が増加してゆき、この結果キャンティレバーの元に近いほど導入プレストレスが増加してゆくから、普通の PC 部材のように一度に計画どおりの全プレストレス力を導入する場合とくらべて、コンクリートのクリープおよび乾燥収縮によるプレストレス力減退はかなり少なくなるものと考えられる。したがって、一般の PC 部材においては、コンクリートのクリープおよび乾燥収縮によるプレストレス力損失をできるだけ少なくする目的からも DW 工法の場合よりも高いプレストレス導入時コンクリート強度の制限値が必要である。また、プレストレス導入時の定着端コンクリートブロックの割裂ヒビワレおよび破壊に対する安全性の保証の上からもこれは必要である。いずれにしても一般の鋼棒使用 PC 部材では DW 工法のよう

に早急な形ワク転用の要求はないのが普通であり、プレストレス力導入材令がかなりおそくなると予想されるので、 $\sigma \geq 250 \text{ kg/cm}^2$ の制限はそれほど大きな影響はないものとする。DW 工法ではすでに述べたように各工事区分の施工が進むにつれて、導入プレストレス力が段階的に増加してゆくから、必ずしも $\sigma \geq 250 \text{ kg/cm}^2$ の規定に従わなくてもよからう。

なお、セメント強度別にプレストレスを与えてよいときのコンクリート強度を決める必要はない。それはどんな強度のセメントを使用しても、コンクリート強度だけわかっておれば、クリープヒズミがプレストレス導入後にどれくらいおこるか、定着端の割裂ヒビワレおよび破壊に対して十分な安全性があるかどうかを知ることができるし、また、普通ポルトランドセメントであっても早強ポルトランドセメントであっても、上記のクリープヒズミおよび定着端安全性はプレストレス導入時のコンクリート強度および弾性係数から一義的に求めることができるからである。

いずれにしても DW 工法の特事情と他の一般の場合との相違をよく考えないと、DW 工法に対して妥当な規定であっても、他の一般の場合には適当でない規定となることがあるので注意を要する。本来の規定は全 PC 鋼棒を同じ期日に設計図書に示されたとおりにフルに引張ることを前提としていることを補記しておく。

以下 10 項目については次号で発表する予定である。

参 考 文 献

- 1) 上前・長田：Dywidag 方式嵐山橋について、プレストレスコンクリート、Vol.1, No.2
- 2) 上前・長田・松野：ディビダーク工法を施工して——現行 PC 指針の改正を必要とする点について、プレストレスコンクリート、Vol.1, No.4, Oct. 1959
- 3) 日本材料試験協会編：鋼棒使用 PC 設計施工指針 (JSTM 規格 S-1)、昭 33.6
- 4) 坂・六車・安井：最近 5 年における普通ポルトランドセメント (モルタル) の強度、セメント技術年報 XI, 1957. 坂・六車・安井：市販セメントの長期強度、セメント技術年報 XIII, 1959
- 5) 坂・六車・小野・松井：各種 PC 用緊張材の適用性に関する研究 (ポストテンション型 PC 用高周波焼入鋼棒の場合)、セメントコンクリート、No.135, 1958.5
- 6) 坂・岡田・六車：太径丸棒ポストテンション型 PC 枕木の実験的研究、材料試験、Vol.4, No.26, 昭 30.10
- 7) 坂・六車：構造試験について、材料と設計、Vol.5, No.12, Dec. 1959
- 8) 小西・木村・川口：高張力鋼棒を用いた PC げたのきれつ荷重と疲労強度、セメント技術年報 XI, 1957
- 9) Spannstähe und Spannverfahren für Spannbeton nach DIN 4227, Vorläufige Richtlinien für die Prüfungen bei Zulassung und Abnahme, Ausgabe Oct. 1954., Beton-Kalender 1960

(坂：京都大学名誉教授、本協会副会長)
(六車：京都大学講師、工学部建築教室)