

阪神高速道路公団 正 員 川北 司郎

信州大学工学部 正 員 長 尚

信州大学工学部 正 員 小山 健

1. まえがき

日本における土木構造物の現行の設計法では、安全性の水準は主として許容応力度の水準すなわち材料安全率によって制御されている。そしてこの材料安全率は、設計という行為には不可避な、不確実性及び曖昧さを、経済性の絡みも考慮してカバーするためのものである。したがって新しい設計法に移行して形は変わるにしても、配慮されなければならない内容には違いはない筈である。しかしながら従来材料安全率で配慮されている要因についての解釈が人により異なり、また結果として果している役割についての評価もはっきりしていない。そのため新しい設計法に移行するに際しても、これらの解釈・評価について関係者がもっと議論して、なるべく共通な認識をもつ必要がある。そこで本文では、まず従来から言われている材料安全率で配慮されている要因について整理し、次いで日本における材料安全率の変遷について述べ、若干の考察を加えて、このような議論への一資料を提供する。

2. 許容応力度設計法における材料安全率

材料安全率で配慮されている要因について列挙すると次のようである。1) 作用荷重の不確かさ：荷重のバラツキ、荷重の伝わり方の不明確、荷重の時代による変遷、2) 強度の不確かさ：材料・部材強度のバラツキ、試験体の強度と構造物内の強度の違い、3) 製作・施工誤差、4) 断面もしくは構造物の強度及び応力度等の算定結果のもつ不確かさ：算定上の仮定の設定及び実用式にするための簡略化に伴う実際との差、5) 設計で無視した要因の存在：二次応力、応力集中、疲労、動的影響、劣化、未知（最近ではこれらの要因は設計で考慮されている場合が多いが古い文献等によると以前にはこれらは無視されていたので挙げた）これらの要因が個々にどのように配慮されて、材料安全率が決められたかについては詳らかではない。むしろ経済性の制約下で経験的な総合判断で決められたと考えるべきであろう。したがってこの値は技術の進歩を反映して、時代と共に小さくなっていく性格を有する。そこで日本の示方書類ではどのように変遷してきたかについて次にみてみよう。

3. 日本における材料安全率の変遷

許容応力度等を定めた日本最初の示方書類の出現はいつ頃か、定かではないが、若干の文献によると、明治43年頃のようなのである。以来今日までの鋼材・鉄筋の引張強さ、降伏点、許容引張応力度及びコンクリートの圧縮強度、許容曲げ圧縮強度を調べ、材料安全率の変遷について図-1～3に示す。なお一部には著者等の推定が入っていることを断っておく。

4. 考察

図から、これまでの材料安全率について次のことが判る。

1) 鋼材・鉄筋の引張強度に対する安全率 ν_{σ} : 3.7 (過去最高) ~ 2.6 (現行平均)、2) 鋼材・鉄筋の降伏点に対する安全率 ν_{γ} : 2.2 (過去最高) ~ 1.7 (現行平均)、3) コンクリートの圧縮強度に対する安全率 ν_c : 3.3 (過去最高) ~ 3.0 (現行)。以上のことは、日本において初めて許容応力度が示方書類で規定されて以来この約75年間特にその中の半世紀以上に亘って、“強度に対する安全率は略3、

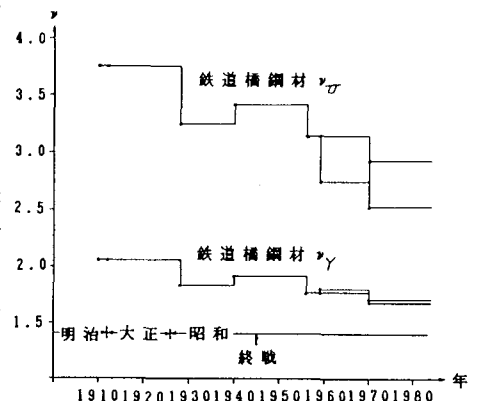


図-1 鋼材(鉄道橋)の材料安全率の変遷

降伏点に対する安全率は略2”という考え方が意外に変わっていないことを示している。この間の設計・施工技術の進歩、特に最近のコンピュータの利用による設計計算内容の多様化・厳密化、品質管理による使用材料の品質向上等を考慮すると、2. で示したような、以前には材料安全率でカバーしななければならないような要因がかなり改善されている（例えば材料の品質の向上、手計算時代に比べての計算種別の増加、無視要因の減少等）ので、昭和56年度の土木学会の研究討論会でも指摘したように、これまでもっと材料安全率は低くされるべきであったように思う。このことは結果として必要以上に安全な、不経済な設計を行っていることを意味している。なおコンクリートについては、昭和15年に配合強度を設計強度の1.15倍とし、又昭和31年に設計強度に割増しを加えた目標強度を設けたのに材料安全率は下げられてはいない。ただし国鉄では昭和58年に改訂された建造物設計標準において、コンクリートの品質向上を考慮して、材料安全率を2.9～2.6 としている。

したがって新しい設計法の安全性の水準はこのことも考慮に入れて、現行の安全性の水準よりも思い切って低くすべきであろう。新しい設計法に移行する機会を捉えてのこのような設計合理化も今後議論されるべきものと思う。ただし、どの程度安全性の水準を下げるか、定量的に示すことは非常に難しい。非常に大胆に、しかも感覚的に敢えて言うならば、材料安全率を現行より10～20% 程度下げ、鋼材・鉄筋の降伏点に対する安全率を1.5 に、コンクリートの圧縮強度に対する安全率を2.5 にした水準を取敢えずの目標にするのは如何であろうか。ところでこのような議論をする際、人によって考え方にかなり差異が生ずるのは主として次のような点に関する認識の差である。1) 現行の安全性の水準について：低い～妥当～高い、2) 設計・施工技術の進歩について：安全性の改善にそれ程寄与してない～かなり寄与している、3) 荷重の時代による変遷について：安全率でカバーすべきでない～これまで自動車荷重については結果的には増加を許してきており今後もある程度配慮しておくのは止むを得ない、4) 人的ミス等について：材料安全率でカバーすべきでない～結果としてカバーしているから安全性の水準を下げると人的ミス等が露呈してくる。

著者等も、例えば、(1)ものによっては意外に強度、応力等の算定の厳密化が進んでいない、(2)設計で無視した未知要因があり得る、(3)コンクリートの早期劣化の一因とみられる施工技術水準の低下がある、(4)たてまえては荷重の増加、人的ミス等を安全率等でカバーすべきではないが、結果として安全率がある程度これらの面倒をみている、ように思う。しかもこのような、算定結果の不確かさ、未知要因の存在、施工技術水準の低下、荷重の増加、人的ミス等が建造物の安全性の水準を大きく左右しているとするならば、軽々に安全性の水準を下げることはできないことも事実である。ただここで特に指摘しておきたいことが二つある。一つは自動車荷重の上限を法律できちっと規制し、荷重の時代による変遷を安全率等でカバーしなくて済むようにすべきである。これを放置しておいての設計の合理化の議論は非常に限られてしまう。もう一つは施工技術水準の低下とか過度な人的ミスはやはり安全率等でカバーすべきでない。もしこのような役割をもたせるとかえってそのような傾向を助長することになる。これまでにこのようなことが高い安全率のために表面に出ていないとすれば、顕在化させて技術水準の向上を図るという考え方も必要である。

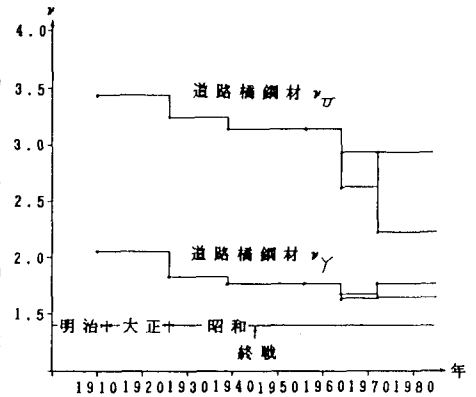


図-2 鋼材（道路橋）の材料安全率の変遷

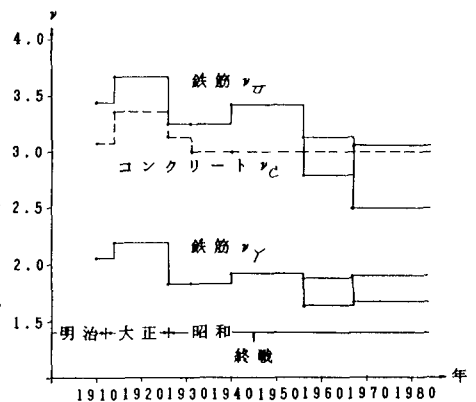


図-3 鉄筋・コンクリートの材料安全率の変遷