

RC 部材の設計における使用限界状態の照査基準の変遷調査

金沢工業大学 学生員 ○西尾 昭希
金沢工業大学 正会員 木村 定雄

1. はじめに

都市部の既存の地下鉄をみると、供用後 50 年を経過するものが増加しつつある。例えば、東京地下鉄では、1927 年に開業した銀座線から始まり、丸ノ内線、日比谷線および東西線等が挙げられる。建設当時は浅深度に建設された地下鉄ではあるが、高度成長期には、下水道、電力、通信などの都市インフラの建設も増えたことから、新規建設の地下鉄は深度化が進むようになった¹⁾。最近では、施設利用の利便性など、時代に応じた機能向上が求められ、既存のトンネルに大規模改築が施されている。ここで、鉄道事業における構造物の設計法の適用は、事業者が国土交通省に届出た実施基準に従っている²⁾。この実施基準は、新規建設はもとより、大規模リニューアル(構造変更を伴う改築や改造など)にも適用される。また、これまでに建設されてきた地下鉄の設計基準³⁾は、その時代に依りて改善し、合理化が図られ、変遷してきている。

従前は、開削トンネル躯体の設計法の変遷をみると、1924 年以降、許容応力度設計法が採用されていた。一方、2004 年からは、設計耐用期間中に生じる作用に対し限界状態を定め、その状態に至らないことを照査する限界状態設計法が採用されている⁴⁾。

このように、設計法が変遷することから、今後、大規模リニューアルを実施する場合には、過去の設計法の取扱いを十分に考慮し、主構造部材を変更するリニューアルの設計の妥当性を検討する必要がある。

本稿は、わが国における限界状態設計法、とくに使用限界状態設計法の変遷を顧み、地下構造物における使用限界状態の照査基準について考察する。

2. 許容ひびわれ幅および曲げひびわれ幅の算定式の変遷と考察

図 1 は RC 部材における許容ひびわれ幅および曲げひびわれ幅の算定式の変遷を示したものである。照査基準となる許容ひびわれ幅は、1986 年に、鋼材の腐食に対する環境条件に応じた係数をコンクリートのかぶり c に乗じて定めている。一方、下水道用シールドトンネルでは、下水道の環境を考慮して、許容ひびわれ幅は一般の環境条件を定めている⁵⁾。曲げひびわれ幅の算定は図 1 中式(1)としている。式(1)は、角田の考え方⁶⁾に鋼材の付着性状の影響を表す係数 k_1 を乗じたものである。一方、2002 年からは、コンクリートの設計基準強度を考慮した係数 k_2 および引張鉄筋の段数を考慮した係数 k_3 を従来の曲げひびわれ幅の算定式に乘じる図 1 中式(2)が提案されて

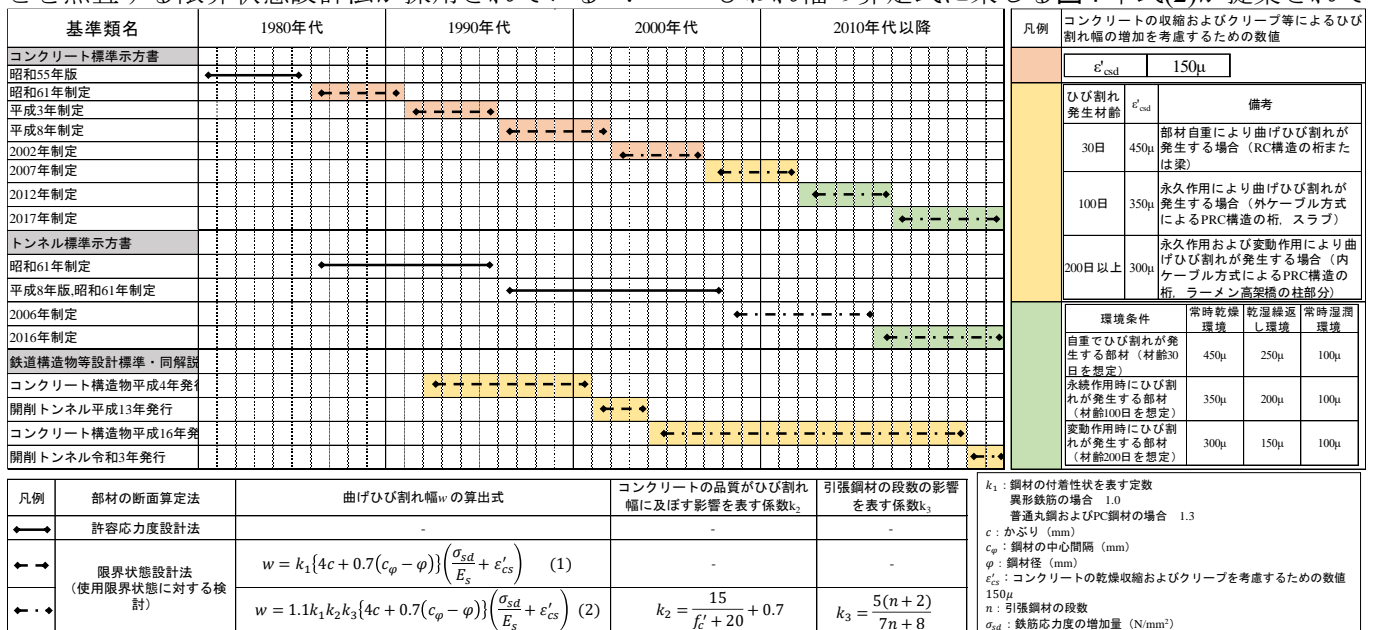


図 1 曲げひびわれ幅の算定式の変遷

いる^{7,8)}。中でも、曲げひびわれ幅の算定に用いる乾燥収縮およびクリープを考慮したひずみ ε'_{cs} をみると、1976年に 150μ を用いている。その後、2007年からは、実橋におけるコンクリート表面のひびわれを調査した結果を基に、材齢に応じた値を定めている⁹⁾。2012年からは、部材の環境条件に応じた値を定めている。前述の曲げひびわれ幅の算定の考え方は、地上構造物の検討結果を反映したものとなっており、地下構造物における曲げひびわれの算定には十分検討する必要がある。

ここで、地下構造物、とくに開削トンネルの部材が受ける環境条件を考慮した曲げひびわれ幅を試算してみる。地山側で常時湿潤の環境、内空側で常時乾燥の環境が想定される。これによる乾燥収縮およびクリープを考慮したひずみは、 $\varepsilon_{地山側}$ で 100μ 、 $\varepsilon_{内空側}$ で 450μ の値である。これらの値は、脱型後に自重で曲げひびわれ幅が発生することを想定し、材齢30日程度のものを用いている。

3. 許容応力度を用いた照査法と曲げひびわれ幅を用いた照査法の安全率の検討

鉄筋の応力度が曲げひびわれ幅に及ぼす影響を図2に示す。図中の黒実線は地山側の値、赤実線は内空側の値である。許容ひびわれ幅における鉄筋の応力度をみると、 $\varepsilon_{地山側}$ のケースは $\varepsilon_{内空側}$ のケースの約1.6倍となり、乾燥収縮およびクリープを考慮したひずみが曲げひびわれ幅に及ぼす影響は大きい。また、鉄筋SD295の降伏点に対する許容ひびわれ幅に達するときの応力度を安全率 F_s とし、その影響をみってみる。 $\varepsilon_{地山側}$ をみると、許容応力度による安全率が約1.8に対し、約1.6と小さくなり、使用限界状態を満たすことが一例ではあるが確認できる。一方、 $\varepsilon_{内空側}$ をみると、安全率は約2.7となり、許容応力度における安全率より0.9の余裕をみる必要がある。このことから、曲げひびわれ幅の算定に用いる値の設定次第では、許容応力度を用いた照査法よりも厳しい条件となるため、部材が受ける環境作用の検討には十分留意する必要がある。

また、地下構造物においては、周辺地盤から受ける環境作用、すなわち、地下水が躯体に及ぼす影響をみることも必要となる。そのため、漏水がひびわれ幅に及ぼす影響¹⁰⁾を勘案して、許容ひびわれ幅の設定を検討することが重要と考える。

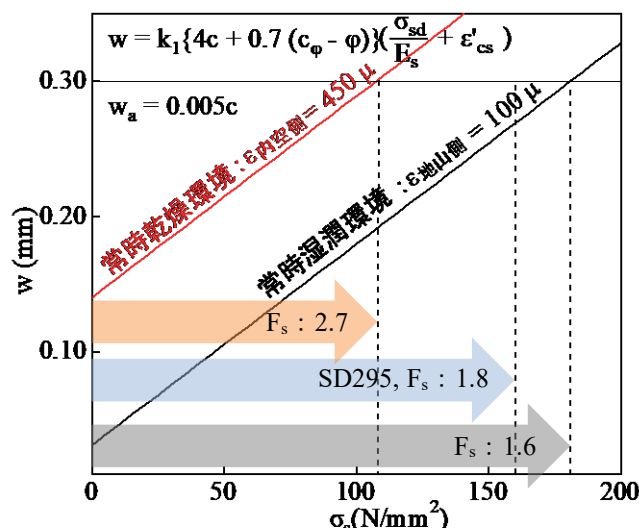


図2 鉄筋の応力度と曲げひびわれ幅との関係

参考文献

- 例えば、国土交通省：新たな都市づくり空間、大深度地下、大深度地下の公共的使用に関する特別措置法について、p.3, 平成19年12月作成, 平成24年12月一部修正。
- 土木関係技術基準調査研究会編著：解説 鉄道に関する技術基準（土木編）第三版，国土交通省鉄道局監修，p.12, 2014。
- 例えば、帝都高速度交通営団建設部：2号線設計示方書案，1959年，1960年改訂，1961年増補。
- 財団法人鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説－開削トンネル，p107, 2002。
- 土木学会・日本下水道協会共編：シールド工用標準セグメントー下水道シールド工用セグメントー，p.381, 平成13年7月発行。
- 角田与史雄：鉄筋コンクリートの最大ひびわれ幅，日本コンクリート工学会，コンクリートジャーナル，1970。
- 五角亘：コンクリートの品質がRC部材のひび割れ幅に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，2001。
- 趙唯堅：鉄筋コンクリートはりの曲げひびわれ幅算定式の再評価，土木学会論文集，1994。
- 石橋忠良：コンクリートの桁の表面の曲げひび割れ幅の算定法に関する研究，土木学会論文集，No.484, pp.33-40, 1992。
- 伊藤正寛：漏水を有するRCセグメントの鉄筋腐食の初期進展に関する実験的研究，土木学会地下空間シンポジウム，2007。