

RC セグメントのひび割れ幅算出方法に関する考察

財団法人 先端建設技術センター

中村 徹立
東 光俊
湯 康尊
浅 康尊
増 正男
野 正男

パシフィックコンサルタンツ株式会社

○ 正会員
正会員

1. はじめに

わが国の大都市では、都市化の進展に伴い増大する洪水流出に対処するために、近年、トンネル方式による地下河川の建設が進められている。これらの地下河川は、都市部の軟弱な地盤中に建設されることから、多くがシールドトンネル方式を採用している。

近年の地下河川のシールドトンネルでは、一次覆工のみの構造形式で、外荷重に加えて内水圧にも耐える構造が採用されており、覆工が RC 構造の場合には、ひび割れ幅を算出し、所要のひび割れ幅以下であることを確認することとなっている。しかし、ひび割れ幅の算出方法に関しては確認すべき課題を有しており、ここでは、単体曲げ試験結果から、ひび割れ幅算出方法について考察を行った。

2. ひび割れ幅の算出方法と課題

構造物の耐久性を確保するためには、ひび割れ幅の制御が必要である。許容ひび割れ幅は、環境条件、かぶり、鋼材の種類に応じて表 - 1 が用いられている。

表 - 1 耐久性に対する許容ひび割れ幅

鋼材の種類	鋼材の腐食に対する環境条件		
	一般の環境	腐食性環境	特に厳しい腐食性環境
異形鉄筋 普通丸鋼	0.005 c	0.004 c	0.0035 c
PC 鋼材	0.004 c	—	—

c : 鉄筋のかぶり

また、ひび割れ幅 w の算定は、一般に、「コンクリート標準示方書」による次式で算出される。

$$w = 1.1k_1 k_2 k_3 \{4c + 0.7(c_s - \phi)\} \left[\frac{\sigma_{se}}{E_s} + \varepsilon'_{csd} \right] \quad \text{式 - 1}$$

ここに k_1 は鋼材の表面形状がひび割れ幅に及ぼす影響を表す係数、 k_2 はコンクリートの品質がひび割れ幅に及ぼす影響を表す係数、 k_3 は引張鋼材の段数の影響を表す係数、 c はかぶり、 c_s は鋼材の中心間隔、 ϕ は鋼材径、 σ_{se} は鉄筋応力度の増加量、 E_s は鉄筋のヤング係数、および ε'_{csd} はコンクリートの収縮・クリープ等によるひび割れ幅の増加を考慮するための数値を示す。

ひび割れ幅算定式を RC セグメントに適用する場合の課題として次のことが考えられる。

ひび割れ間隔の組立用鉄筋による影響

RC セグメントの場合、組立用鉄筋が 100 ~ 200mm 間隔と密に配筋されており、かつ、組立用鉄筋位置でかぶりが小さくなっている。そのため、組立用鉄筋がクラックの発生原因になると考えられる。

コンクリートの乾燥収縮およびクリープによるひび割れ幅の影響

製造工程が管理された工場製品の場合、現場打ち覆工に比べて、乾燥収縮、クリープの影響が小さいと考えられるため、ひび割れ幅算出におけるこれらの取扱いについて検討する必要がある。

3. セグメントの単体曲げ試験によるひび割れ間隔とひび割れ幅

セグメント単体曲げ試験に用いた供試体は、桁高 0.125 ~ 0.45m、主筋間隔 48 ~ 202mm、組立用鉄筋間隔 72 ~ 234mm の合計 16 供試体である。試験では、荷重を連続的に載荷させて各荷重段階ごとに、引張鉄筋の応力度と最大ひび割れ幅を計測した。

(1) 最大ひび割れ間隔の実測値と計算値

図 - 1 は、最大ひび割れ間隔の実測値と土木学会式によるひび割れ間隔の計算値の比較である。土木
キーワード：地下河川 シールドトンネル RC セグメント ひび割れ幅

連絡先：〒112-0012 東京都文京区大塚 2-15-6 ニッセイ音羽ビル 03-3942-3993

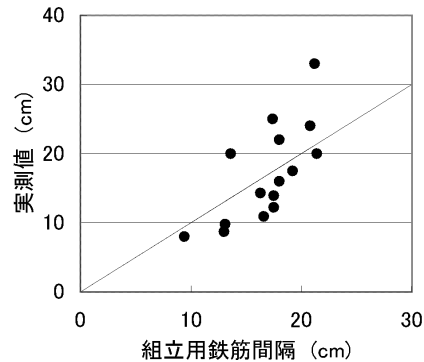
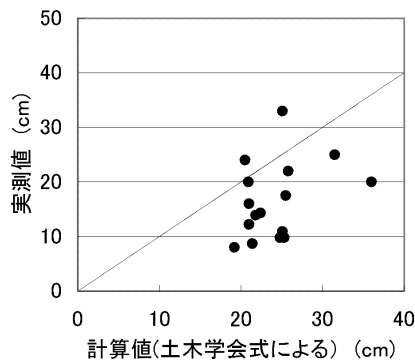


図 - 1 最大ひび割れ間隔の実測値と計算値 図 - 2 最大ひび割れ間隔の実測値と組立用鉄筋間隔

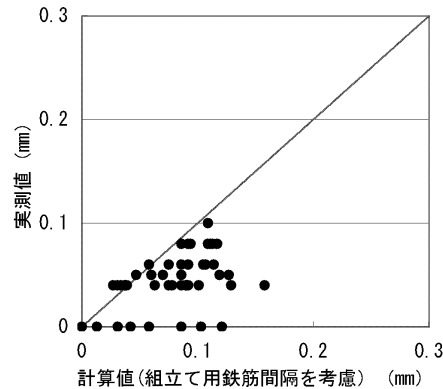
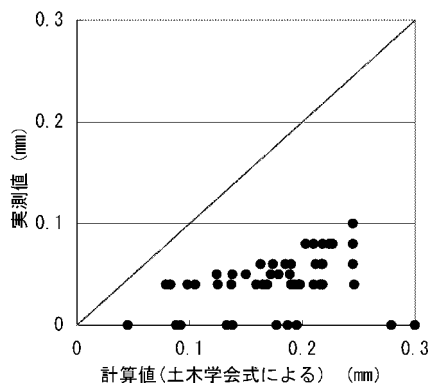


図 - 3 ひび割れ幅の実測値と計算値（その 1） 図 - 4 ひび割れ幅の実測値と計算値（その 2）

学会式によるひび割れ間隔は，主鉄筋の間隔とかぶりで算出されるため，20cm～40cm となっている．一方，実測値は，概ね 20cm 以下と計算値よりも小さくなっている．

（ 2 ）最大ひび割れ間隔の実測値と組立用鉄筋間隔

次に最大ひび割れ間隔の実測値と組立用鉄筋間隔の関係を図 - 2 に示す．これより，最大ひび割れ間隔の実測値と，組立用鉄筋間隔とは，概ね一致しており，組立用鉄筋によりかぶりが小さくなることが，ひび割れを誘発させる要因になっているものと考えられる．

（ 3 ）ひび割れ幅の実測値と計算値

図 - 3 は，鉄筋応力度 $200\text{N}/\text{mm}^2$ 以下で発生したひび割れ幅について，土木学会式による計算値と実測値との比較である．これより，計算値は実測値に比べて大きなひび割れ幅を算出する結果となっている．

図 - 4 は，土木学会式のひび割れ間隔の項に各供試体の最大組立用鉄筋間隔を代入し，さらに，単体曲げ試験が連続荷重載荷による試験であることから，角田の式を参照し，一時的な荷重によるひび割れ間の付着による鉄筋応力の減少量を考慮した式 - 2 を用いた計算値と実測値の比較である．ここで，乾燥収縮とクリープによる影響を考慮しない事より，両者は概ね一致することが確認された．

$$w = l_{\max} \left[\sigma_{se}/E_s - 0.4 \sigma_{ct}/E_s p_e + \varepsilon'_{csd} \right] \quad \text{式 - 2}$$

ここに， $l_{\max}$ は組立て用鉄筋の最大間隔， σ_{ct} はコンクリートの引張り強度， p_e は有効鉄筋比である．

4．まとめ

単体曲げ試験の結果から，ひび割れ幅の算出において，組立て鉄筋間隔を考慮する．一時的な荷重においてはその影響を考慮する．乾燥収縮やクリープの影響を考慮しない等により，実際に発生するひび割れ幅と計算値は概ね一致することが確認された．今後は，地下河川の荷重状態を考慮したひび割れ幅の算出方法等，設計への反映について検討を進める予定である．

最後に，本研究は，研究会を設置しており，ご指導・ご助言を賜りました北海道大学大学院工学研究科角田與史雄教授，早稲田大学理工学部小泉淳教授，ならびに単体曲げ試験のひび割れデータを提供して下さった日本 RC セグメント工業会には多大なる感謝の意を表します．