

鉄道総合技術研究所 正会員 ○ 松本 信之
同 正会員 曾我部正道
東北工業大学 正会員 田中 礼治
鹿島技術研究所 山田登志郎

1. はじめに 本研究は、田中ら^[1]により行われたガス圧接継手素材の引張強度のバラつきについての調査結果および文献[2]に示された母材強度分布のデータに基づき、圧接継手素材および母材の引張強度分布を仮定して、モンテカルロ法により圧接継手が同一断面に集中した場合を想定したシミュレーションを行い、その信頼性評価を試みたものである。

2. 圧接継手素材と母材の強度分布 圧接継手素材および母材の強度分布は、次のように仮定した。

(1) 圧接継手素材：圧接継手素材の引張強度に関するデータは、文献[1]により公表された調査結果を基礎データとして用いた。

この調査で対象とした鉄筋種別は、SD295・SD345の二種類であり、鉄筋径はD16～D32である。また、試験片数は合計 953,424本であり、このうち圧部破断を生じたものは 4,551本である。マクロにみた圧部破断比率は 0.5%以下であり、この発生確率を考慮すると、圧部破断を生じた試験片を含めたグループの引張強度分布とそうでないグループのみのそれとを比較しても、統計的な有意差をみいだすことは極めて難しい。

しかし、なんらかの要因で圧部破断を生じる継手が一部材に集中するのではないかという危惧も考えられる。これは適切な検査を行えば解消されるものであるが、本報では最も安全側の判断として、圧部破断の発生確率は考慮せず、圧接鉄筋の全てが圧部破断する不良圧接であると仮定し、その分布は中登ら^[3]と同様に文献[1]による圧部破断試験片の強度分布特性に基づく β 分布で表されると仮定して検討することとした。

調査試験片の強度分布の上下限值、平均値および分散から式(1)に示す分布パラメータを求めた(表1)。

$$f_x(x) = \frac{(x-a)^{q-1} \cdot (b-x)^{r-1}}{B(q,r) \cdot (b-a)^{q+r-1}} \quad \dots(1) \quad B(q,r) = \int_a^b x^{q-1} (1-x)^{r-1} dx \quad \dots(2)$$

ここに、 $f_x(x)$ ： β 分布の密度関数、 q, r ：分布パラメータ、 b, a ：上、下限値 ($a \leq x \leq b$)

(2) 母材：母材の引張強度の分布は、正規分布と仮定し、その分布特性は文献[2]に示されているD16～D32(SD295はD25まで)の引張強度の平均値と標準偏差から求めた(表1)。

3. モンテカルロ法による標本設定および強度評価

表1 引張強度の分布パラメータ

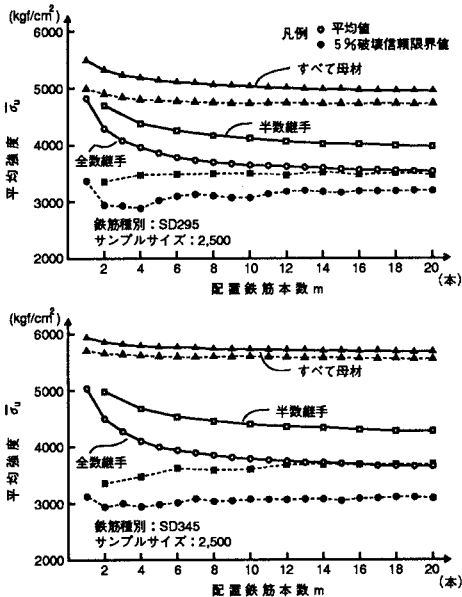
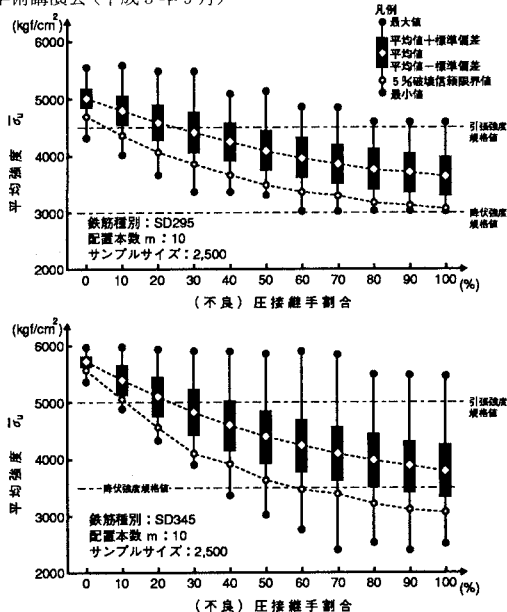
モデル 前節の仮定に従い、一様乱数を関数変換して、その確率変数が目的の強度分布と一致する乱数群(1群50,000データで、鉄筋種別毎に圧部破断強度データ群 $G(\sigma_{us}(x))$ 、および母材の引張強度データ群 $N(\sigma_{us}(x))$ の2種)をはじめに用意した。

鉄筋種別	圧接継手素材 (不良圧接)				鉄筋母材	
	q	r	上限値	下限値	平均値	標準偏差
SD295	6.068	4.811	7672	1000	5497	309.5
SD345	4.650	1.697	6742	389	5935	142.0

q, rは無名数, その他はkgf/cm²

次に、一断面にk本の圧部破断を生じる圧接継手を含むm本の鉄筋が配置されている部材をイメージし、これが鉄筋の引張破断のみで破壊が定まると仮定した並列系の破壊モデル(評価関数)を設定して、その強度評価を行った。ただし、この場合のデータ群G, Nからのデータ抽出法は、それぞれの群の乱数データの発生順序に従い、圧接継手データ群Gからk個のデータ、また母材データ群Nから(m-k)個のデータを順次採ることとし、これを一束として一断面配置鉄筋とした。また、断面強度の評価関数は式(3)により表されたとした。この関数は、一断面に配置された全鉄筋が破断するまでに保持できる最大耐力を配置本数で除したもので、配置鉄筋一本当たりの平均強度ともいえる。

$$\bar{\sigma}_u = \max \{ \sigma_{us}(\frac{n}{k})_j \cdot (m-j+1) \} / m \quad \dots(3)$$


図1 平均強度 $\bar{\sigma}$ の配置鉄筋本数に対する推移

図2 平均強度 $\bar{\sigma}$ と圧接継手割合との関係

ここに、 $\bar{\sigma}$ は平均強度（評価関数）、 $\sigma_u(i)_j$ は一断面内鉄筋の順序付き引張強度、 m は配置鉄筋本数、 j は引張強度の小さい方からの順序

4. シミュレーション結果 数値シミュレーションでは、一断面内の配置本数 m を1～20、その内で圧部破断を生じる継手本数 k を0～ m まで変化させて、その統計量（平均値、最大・最小値、標準偏差、5%破壊信頼限界値（以下、信頼限界値という））を求めた。

図1に一断面内の配置本数 m を20まで変化させた場合で、不良圧部破断を生じる継手本数 k を m の半数および全数とした時の評価関数の平均値と信頼限界値の推移を示す。これより、SD295、345の両者とも平均値は配置本数 m の増加に従い漸減するが、その低下傾向は本数増加とともに和らぐこと、また、信頼限界値は半数継手、全数継手ともほぼ一定となることが分かる。

また、図2に一断面内の配置本数 m を10とし、圧部破断を生じる継手本数 k を0～10（図中では割合で表示）まで変化させた場合の評価関数の統計量の推移を例示する。これより、SD295、345の両者とも k の増加に従い、平均値および信頼限界値は漸減することと標準偏差が漸増すること、SD295、345では若干異なるが、半数継手および全数継手の母材強度規格値(σ_u)に対する比率（表2）は概ね、平均値ではそれぞれ90%および80%、信頼限界値ではそれぞれ75%および65%程度の値となることが得られた。これは配置本数が比較的多い場合には一般性を有する結果でもありとえられる。

表2 母材強度（規格値）に対する平均強度の比率

鉄筋種別	項目	半数継手		全数継手	
		σ_y	σ_u	σ_y	σ_u
SD295	平均値	1.36	0.91	1.21	0.81
	信頼限界値	1.16	0.77	1.01	0.68
SD345	平均値	1.25	0.88	1.08	0.76
	信頼限界値	1.03	0.72	0.87	0.61

σ_y , σ_u は規格値

5. 結論 継手素材の引張強度のバラつき調査データに基づた分布特性を用い、同一断面に圧部破断を生じる不良圧接継手を集中させた場合を想定したモデルを設定して、確率手法を用いてその強度評価を行った。この結果、不良圧接が集中して作成され、さらに検査等を行わない場合においても、最大発生応力等を基に圧接継手の配置位置が適切に選定されれば、全数継手を用いても十分な安全性が確保できることが得られた。

今後、抜取り検査等を考慮した信頼性評価も行いたいと考えている。

謝辞:本研究は、日本圧接協会「全数継手研究推進会」(委員長園部泰寿筑波大学教授)での研究の一環として行われたものである。関係各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献: [1]田中礼治, 大芳賀義喜: ガス圧接継手の抜き取り検査試験片の引張試験結果に関する調査研究—全国調査—, 日本建築学会構造系論文報告集, 第393号, p46, 1988.11. [2]日本建築学会: 鉄筋コンクリート終局強度に関する資料, 8. 鉄筋品質の変動, p34, 1987.9. [3]中埜良昭, 山田登志郎, 田中礼治: 鉄筋コンクリート造における鉄筋継手に関する研究 (その6—ガス圧接継手の設計法の考え方), 日本建築学会大会学術講演要録集C, p677, 1990.10.