

鉄筋の重ね継手強度における横方向鉄筋の効果について

EFFECT OF TRANSVERSE REINFORCEMENT ON THE STRENGTH OF LAP SPLICES

三浦 尚*・鈴木知洋**

By Takashi MIURA and Tomohiro SUZUKI

The strength of lapped splices of deformed bars is influenced by : splice length, concrete strength, cover, the arrangement and the quality of transverse bars, etc. In this study, in order to determine the effect of transverse bars on the strength of the splice the use of a form of modular ratio (N) is proposed, together with an equation, using this modular ratio, for calculating the splice strength. Also, values of the modular ratio corresponding to different reinforcement ratios (1.28~4.03%) and different temperatures (ambient ~ -100°C) are measured and at the same time lapped splice tests are carried out. Comparisons of experimental values with calculated indicated that the proposed equation is adequate.

Keywords : reinforcement, lap splice, transverse reinforcement

1. ま え が き

鉄筋コンクリート部材中の鉄筋の重ね継手の耐力は、鉄筋の重ね合わせ長さ、コンクリートの強度、かぶり厚さ等のほか、鉄筋の重ね合わせ部にある横方向鉄筋の配置やその品質によっても影響を受けると考えられる。

一方、横方向鉄筋が重ね継手の耐力に与える影響は、次のように考えられる。

重ね継手に引張力が作用すると、重ね合わせ部においては、一方の鉄筋からコンクリートに力が伝達され、次にその部分のコンクリートから他方の鉄筋に力が伝達される。鉄筋からコンクリートへ力を伝えるときにコンクリートには、鉄筋から放射線方向の圧縮力が作用し、それに抵抗するためリングテンションが発生する。したがって、リングテンションが大きくなってコンクリートが破壊したときが、重ね継手の破壊ということになる。そして、横方向鉄筋がある場合には、リングテンションを横方向鉄筋が分担してくれるため、それだけ重ね継手強度は上がることになる。

以上のような考えから、Jirsaらは、横方向鉄筋の降

伏点強度が重ね継手耐力に及ぼす影響を取り入れた式を提案している¹⁾。しかし、この式は横方向鉄筋がない場合においては実験式と大変よく合うことがわかっているが^{2),3)}、横方向鉄筋とコンクリートとの組合せによっては違いが出る場合があることがわかり³⁾、そのため、横方向鉄筋の影響を取り入れた部分を再検討すべきであると考えられていた。

一方、横方向鉄筋のある重ね継手の破壊を観察してみると、横方向鉄筋が降伏するのは、重ね継手が最大耐力を過ぎた後であることが多く、重ね継手が破壊するとき、必ずしも横方向鉄筋が降伏したときではなくて、むしろ周囲のコンクリートが割裂したときであると考えられる²⁾。

すなわち、重ね継手の耐力に横方向鉄筋が及ぼす影響は、横方向鉄筋の強度ではなくて、剛性であると考えられる。

本研究は、以上のことから、横方向鉄筋とコンクリートのある種の引張剛性比から、重ね継手の強度を求める式を提案すると同時に、その式に用いられる引張剛性比を各種鉄筋比において、また、近年極低温下においても鉄筋コンクリートが用いられるようになったことから、常温から-100°Cまでの温度において実験的に求め、重ね継手試験を行って、この提案式の妥当性を確かめた

* 正会員 工博 東北大学教授 工学部土木工学科
(〒980 仙台市荒巻字青葉)

** 学生会員 東北大学大学院生 大学院工学研究科(同上)

ものである。

2. 重ね継手の破壊

重ね継手は、一方の鉄筋から他方の鉄筋へ周りのコンクリートを介して応力を伝達するために、引張力が作用するとコンクリートにリングテンションが発生し、そのコンクリートの引張ひずみが破壊ひずみに達すると破壊する。つまり、横方向鉄筋がある場合でも、横方向鉄筋比が非常に大きい場合を除いて、周りのコンクリートが割裂破壊を起こすときに継手の破壊が生じると考えられる。

かぶりが特に大きい場合を除いて、一般に生じる重ね継手の破壊パターンを図-1 (b), (c) に、鉄筋からコンクリートに作用する力を模式的に図-1 (a) に示す。ただし、ここではせん断力の影響は無視している。

図-1 (a) において P_y と P_y' とは継手の一断面を取り出した場合には、一般に異なった値となるが、継手全長で平均した場合、ほぼ等しいと考えてさしつかえない。一方、 P_x と P_y とは、鉄筋間隔、鉄筋の各方向のかぶり、コンクリートの断面形状等、周りのコンクリートによる主鉄筋各方向の拘束剛性の割合によって異なるため、簡単にはそれらの大きさを求めることはできない。しかし、 P_x や P_y の大きさと継手の間隔やかぶり等の条件によって、継手の破壊が図-1 (b) のようになるか、図-1 (c) のようになるかが決定されると考えられる¹⁾。ただし、図-1 (c) の実線のようなひびわれが発生した場合には、 P_x の値が急激に小さくなるために、その分 P_y が大きくなり図中の点線で示した破壊、あるいは (b) 図の破壊と組み合わせた破壊になる²⁾。

このように考えると、横方向鉄筋を配置した重ね継手の破壊の場合には、重ね継手強度への横方向鉄筋の影響分は、継手が破壊するときの割裂面における剛性への鉄筋の影響分であるということになる。また、そのときの

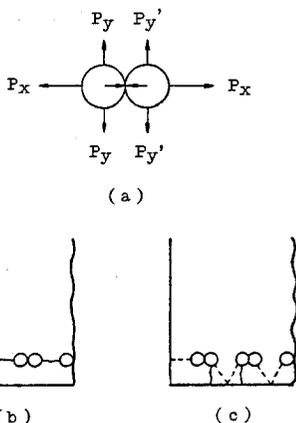


図-1 鉄筋がコンクリートに作用する力と破壊パターン

鉄筋とコンクリートとの剛性の比は、近似的に横方向鉄筋の弾性係数 (E_s) と図-2 に示すようなコンクリートの見掛けの弾性係数 (E_{ct}) との比と同じものと考えることができる。ここで、見掛けの弾性係数とは、重ね継手に配置された横方向鉄筋と同じ鉄筋比の両引供試体のコンクリートが破断するまでの最大荷重時におけるコンクリートの引張応力 (σ_{ctmax}) とそのときのひずみ (ϵ_{ct}) との比を表わす。

以上のような考えを用い、さらに、かぶりおよび重ね合わせ長さの影響を Jirsa ら¹⁾ と同様な方法で取り入れると、横方向鉄筋がある場合は、その剛性分だけかぶりが増えたことになり、重ね継手強度の算定式として、次のような式が得られる²⁾。

$$U = (0.191 + 0.253 C' / \phi + 8.28 \phi / l) f_t$$

ここに、 U : 重ね継手の付着強度 (kgf/cm²)

C' : 図-3 の C'_s , C'_b , C'_n のうちの最小のもの

C_s : 側面かぶり (cm)

C_b : 底面かぶり (cm)

C_n : 主鉄筋の純あき (cm)

A_{tr} : 破壊面と直交する横方向鉄筋の断面積 (cm²) (図-3 参照)

s : 横方向鉄筋の中心間隔 (cm)

N : 継手最大荷重時の鉄筋とコンクリートとの見掛けの弾性係数比 ($= E_s / E_{ct}$)

E_s : 異形鉄筋の弾性係数 (kgf/cm²)

E_{ct} : 横方向鉄筋と同じ鉄筋比の両引供試体最大荷重時のコンクリートの見掛けの弾性係数 ($= \sigma_{ctmax} / \epsilon_{ct}$, 図-2 参照) (kgf/cm²)

ϕ : 主鉄筋径 (cm)

l : 重ね合わせ長さ (cm)

f_t : コンクリートの引張強度 ($= \sigma_{ctmax}$)

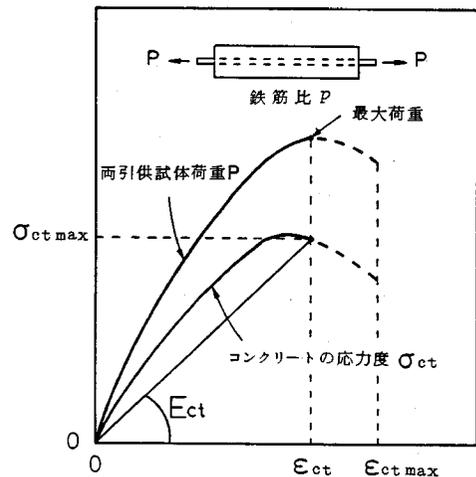


図-2 コンクリートの見掛けの弾性係数 (E_{ct}) の取り方

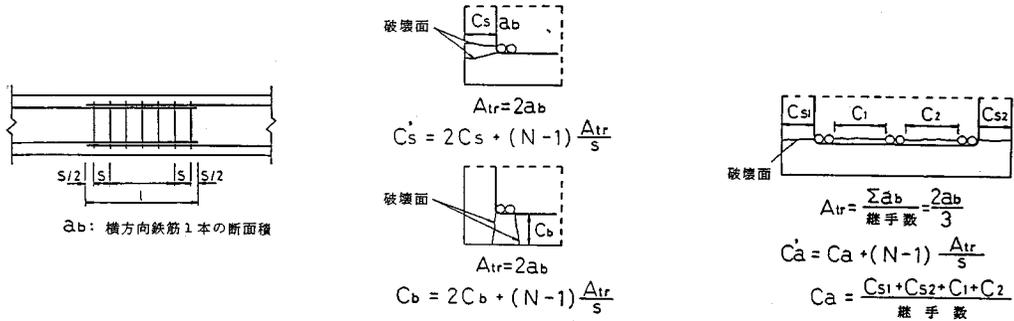


図-3 A_{tr} , C_s , C_b , C_a の取り方

(kgf/cm²)

(ただし、この式は鉄筋とコンクリートとの離れ方向の付着は無視しており、また、式中の係数は、今回の理論を考慮のうえ、参考文献1)のJirsaの式の係数をkgf/cm²で表わしたものである。さらに、図-3の C_s , C_b の破壊は、あらゆる場合で安全側の結果が出るように最も危険な場合を想定したものである。)

したがって、見掛けの弾性係数が求まれば、横方向鉄筋がある場合の継手の強度を算定することができることになる。

3. 引張力を受けたときのコンクリートの見掛けの弾性係数の測定

(1) 概 説

コンクリートの見掛けの弾性係数は、図-2のところで説明したように、鉄筋比によって異なった値となる。

また、コンクリートの物理的性質は、その温度が常温から低温へと変化すると、大きく変化するし、温度が一定であっても、配合や含水の程度によって異なるので、これらによって見掛けの弾性係数の値も異なる。

ここでは、温度、配合、コンクリートの含水量、鉄筋比が変化するとき、引張力を受けたときのコンクリートの見掛けの弾性係数 (E_{cs}) の値はどのような影響を受けるか調べた。

(2) 実験概要

a) 使用材料および配合

セメントは、早強ポルトランドセメント、細骨材は川砂、粗骨材は碎石、混和剤はポリオキシエチレンアルキ

ルアリルエーテルを主成分とするAE減水剤、鉄筋は市販の横フシ異形鉄筋D22 (SD35, SD40)である。実験に使用したコンクリートの配合は、表-1に示す2種類である。

b) 供試体

供試体は、鉄筋比、コンクリートの含水量、配合の影響をみるために、一般の構造物で用いられる範囲の3種類の鉄筋比、2種類の配合、2種類の養生方法を表-2のように組み合わせて、作製した。

供試体の形状寸法を図-4、供試体の長さを表-3に示す。ここで、供試体の長さは、それぞれの供試体が引張力を受けたとき、応力分布が一定となる範囲が十分長くなるように各条件に対して定めた。

すべての供試体は、材令5日で、コンクリート表面にひずみゲージを貼り付け、実験まで気温20±3℃、湿度60±10%の恒温室に放置した。ただし、水中養生供

表-2 影響因子の組合せ

	鉄筋比	養生方法	配合
鉄筋比の影響	1.28%	水中	I
	2.76%		
	4.03%		
含水量の影響	2.76%	水中	I
		気乾	
配合の影響	2.76%	水中	I
			II

(注) ・水中養生 (水温21±3℃の恒温水槽中)
 ・気乾養生 (気温20±3℃, 湿度60±10%の恒温室内)

表-1 使用したコンクリートの配合

	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)								
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G			A/B剤 (cc)		
									20mm 15mm	15mm 10mm	10mm 5mm			
配合 I	20	11±1	4±0.5	50	38	194	388	614	342	568	228	155		
配合 II	20	11±1	4±0.5	60	40	180	300	700	352	586	235	90		

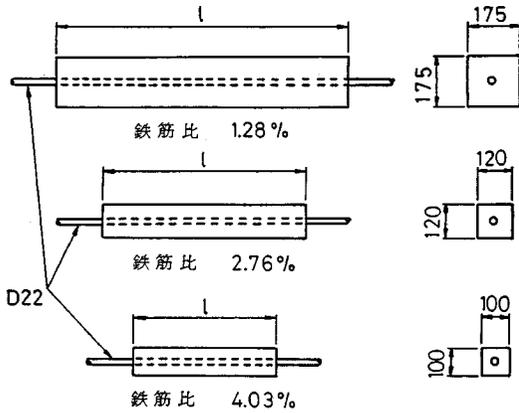


図-4 供試体形状寸法 (単位: mm)

表-3 供試体の長さ (1) (単位: mm)

試験温度	常温	-50 °C	-100 °C
鉄筋比			
1.28 %	1000	1100	1250
2.76 %	700	800	1000
4.03 %	500	500	600

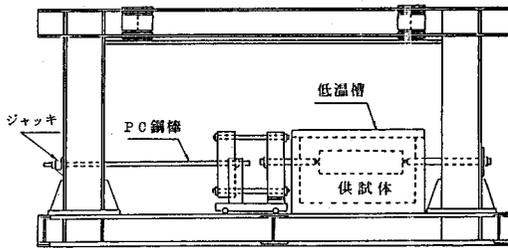


図-5 載荷装置

試体については、ひずみゲージ貼り付け後、コンクリートの含水量が変化しないように膜養生剤を塗布した。

c) 実験方法

養生が終わった後、材令7日または8日で図-5に示す載荷装置に供試体をセットし、試験温度が常温のときには、そのままジャッキでコンクリートにひびわれが発生するまで引張載荷した。低温の試験用供試体に対しては、低温槽内に液体窒素を噴霧して供試体を徐々に冷却し、供試体の内部の温度と外部の温度とが所定の温度になったところで、常温と同様に引張載荷した。試験温度は、常温、-50°C、-100°Cの3種類とした。

コンクリートのひずみは、図-6に示す手順でひずみの時間的変化を動ひずみ計およびデジタルひずみ計で測定した。また、コンクリートの引張応力は、ひびわれ発生直前までは、鉄筋のひずみと供試体表面のコンクリートのひずみとは等しいと考え、図-7に示す手順で求めた。

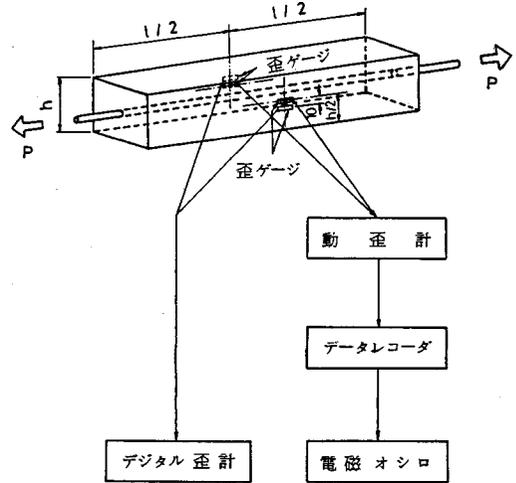
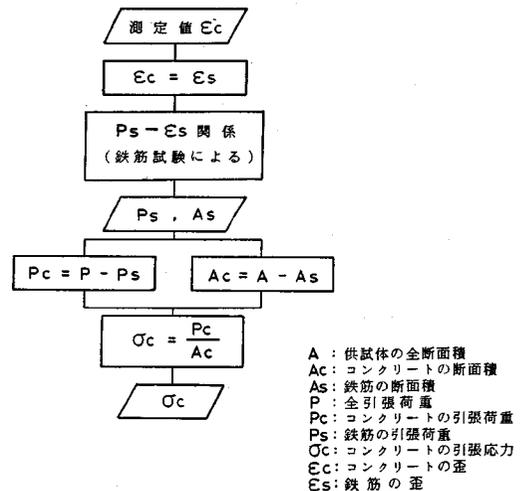


図-6 コンクリートのひずみ測定手順



- A: 供試体の全断面積
- A_c: コンクリートの断面積
- A_s: 鉄筋の断面積
- P: 全引張荷重
- P_c: コンクリートの引張荷重
- P_s: 鉄筋の引張荷重
- σ_c: コンクリートの引張応力
- E_c: コンクリートの歪
- E_s: 鉄筋の歪

図-7 コンクリートの引張応力計算手順

(3) 実験結果および考察

引張力を受けたときのコンクリートの見掛けの弾性係数 (E_{cc}) と試験温度との関係を図-8に示す。図-9には常温の値からの増加分 (ΔE_{cc}) と試験温度との関係をコンクリートの含水量が異なる場合について示す。

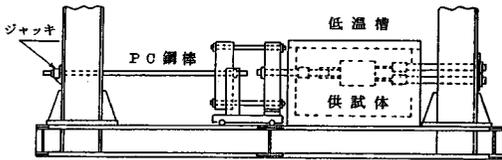
これらの図から、見掛けの弾性係数の増加分は温度が低下するに従って増大することがわかる。これは、低温になるに従ってコンクリート中のより小さい間隙中の水も凍結するようになり、間隙が剛性の大きい氷で占められ、その結果、コンクリートの剛性が大きくなったからであると考えられる。

次に、図-8をみると、今回実験を行った範囲では、鉄筋比は実用上見掛けの弾性係数の値にほとんど影響を与えていない。これは、鉄筋比の影響よりもばらつき

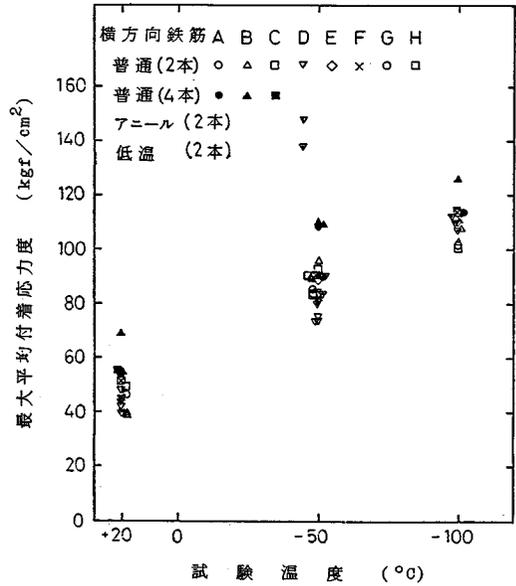
表—5 横方向鉄筋の種類

鉄筋	供試体 (断面)		A	B	C	D	E	F	G	H
	244×172 (mm)	244×172 (mm)	244×172 (mm)	244×172 (mm)	122×172 (mm)	122×172 (mm)	122×172 (mm)	172×172 (mm)	172×172 (mm)	222×172 (mm)
形状	F (mm)	20	20	20	20	40	20	20	20	20
	l (mm)	0	80	160	0	0	30	80	130	
種類	普通	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	アニール	—	—	—	○	—	—	—	—	—
	低温用	—	—	—	○	—	—	—	—	—

(注1) rとlは、右図のように定義する。
 (注2) 「普通」：市販のSD30
 「アニール」：「普通」を曲げ加工後アニールしたもの
 「低温用」：低温脆性示しにくいように成分調整したもの



図—11 載荷装置



図—12 重ね継手強度と試験温度との関係

さは、25 cm で一定とした。横方向鉄筋の品質の種類としては、普通鉄筋を冷間曲げ加工したもの、普通鉄筋を曲げ加工後アニールしたもの、成分調整した鉄筋を冷間曲げ加工したものの計3種類を用い、鉄筋の曲げ加工の程度、形状をそれぞれ表—5 に示すように変化させた。図—10 には例として、供試体のうち断面が244×172 mm の供試体 A, B, C の形状寸法を示す。また、横方向鉄筋 2本, 4本の供試体は、3. の実験での鉄筋比 1.28%, 2.76% にそれぞれ対応している。

供試体は、3. の実験と同様に、恒温水槽で水中養生を5日間行い、その後は恒温室内で膜養生し、材令7日または8日で載荷試験を行った。

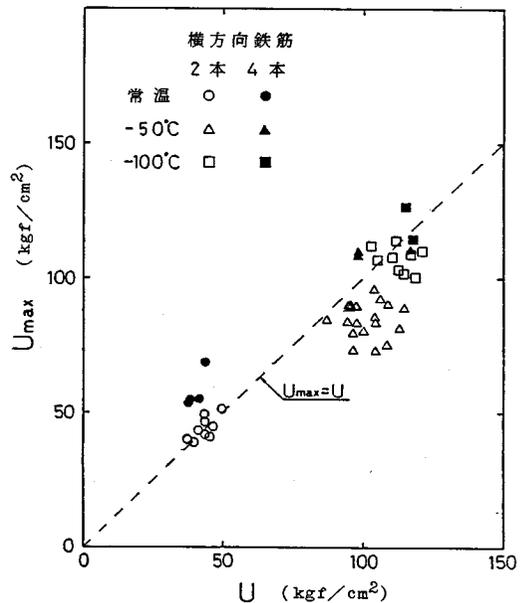
c) 実験方法

養生の終わった供試体を、図—11 に示すような載荷装置にセットし、試験温度が常温のときには、そのままジャッキで割裂破壊時まで引張載荷した。低温のときには、低温槽内に液体窒素を噴霧して、供試体の温度を徐々に下げ、所定の温度で一定になったところで常温と同様に引張載荷した。試験温度は、常温、-50°C、-100°C の3種類とした。

(3) 実験結果および考察

図—12 に重ね継手強度 (最大平均付着応力度で示す) と試験温度との関係を示す。ここで、最大平均付着応力度とは、最大荷重を継手の部分の鉄筋の表面積で割ったもので、重ね合わせ長さに沿って付着応力度が一定であると仮定したときの付着応力度の最大値である。

この結果より、横方向鉄筋の性質を変えても、重ね継手強度はほとんど変わらないことがわかる。また、横方



図—13 重ね継手強度の実験値 (U_{max}) と計算値 (U) との比較

向鉄筋が脆性破断してもしなくても継手強度の値はほとんど変わらない⁶⁾。ただし、ここでは強度のみに着目しており、重ね継手破壊時の変形能に与える影響は別である²⁾。重ね継手強度に及ぼす横方向鉄筋の形状の影響もほとんどなかった。

図—13 には、重ね継手強度の実験値 (U_{max}) と提案式による計算値 (U) との比較を示す。ここで、計算に使用した E_{ct} の値としては、常温では3. で求めたすべ

ての値の平均値 ($E_{ct}=7.14 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ (70.0 GPa)) とし、低温では ΔE_{ct} として図—9 の曲線上の値を求め、それに常温の値を加えたものとしている。また、横方向鉄筋 4 本の供試体の計算上の s は、6.25 cm となっている。

横方向鉄筋 2 本で -50°C の場合には、計算値 (U) は危険側、また、横方向鉄筋 4 本の場合は、2 本の場合よりもやや安全側となっているものの、この結果をみると、全体としてばらつきはあるが、計算値 (U) は実験値 (U_{max}) にほぼ合っていることがわかる。したがって、見掛けの弾性係数比 (N) を用いた提案式から、重ね継手強度を算定することは妥当だと思われる。

5. 結 論

本研究より、次のような結論を得た。

(1) 横方向鉄筋を用いた重ね継手の強度は、横方向鉄筋の効果、鉄筋とコンクリートとの見掛けの弾性係数比 (N) によってコンクリート断面積に換算した提案式で求めることができる。

(2) 計算に必要なコンクリートの見掛けの弾性係数 (E_{ct}) の値は、今回の実験を行った鉄筋比や配合の範囲内では、鉄筋比や配合の影響はあまり大きくない。

(3) コンクリートの見掛けの弾性係数 (E_{ct}) の値は、温度が低くなるにつれて大きくなる。また、低温下においては、含水量が大きくなると大きくなる。そして、温

度と含水量の影響をあらかじめ調べておくことによって、低温下での E_{ct} も推定することができる。

(4) 重ね継手強度に与える横方向鉄筋の品質や曲げ加工の影響は、無視できるほど小さい。

なお、本研究は、文部省科学研究補助金一般研究 (B) によって行われたものである。

参 考 文 献

- 1) Orangun, C.O., Jirsa, J.O. and Breen, J.E. : A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices, J. of ACI, Mar. 1977.
- 2) 三浦 尚・妹島淳生：極低温下における鉄筋の重ね継手性状におよぼす横方向鉄筋の性質の影響，第 5 回コンクリート工学年次講演会講演論文集，pp. 385～388，1983.
- 3) 三浦 尚・長谷川明巧：極低温下における鉄筋の重ね継手強度に関する研究，第 3 回コンクリート工学年次講演会講演論文集，pp. 253～256，1981.
- 4) 高久英彦・三浦 尚・大塚浩司：重ね継手強度に及ぼす横方向鉄筋の影響に関する研究，昭和 58 年度，東北支部技術研究発表会講演概要，pp. 340～341，1984 年 3 月.
- 5) 後藤幸正・三浦 尚：極低温下における鉄筋コンクリート部材の性質に関する研究，土木学会論文報告集，No. 285，1975 年 5 月.
- 6) 藤原正雄・三浦 尚・後藤 浩：極低温下における鉄筋の重ね継手強度に対する横方向鉄筋の性質の影響について，昭和 56 年度，東北支部技術研究発表会講演概要，pp. 292～293，1982 年 3 月.

(1985. 12. 12・受付)