

投稿論文(和文報告)

**TECHNICAL
REPORTS**

凝結硬化時に継続振動を受ける鉄筋コンクリートの 付着強度に関する研究

江藤芳武¹・平野利光²・深池正樹³・出光 隆⁴

¹正会員 九州電力株式会社 総合研究所 (〒815 福岡県福岡市南区塩原2丁目1-47)
²正会員 九州電力株式会社 総合研究所 (〒815 福岡県福岡市南区塩原2丁目1-47)
³正会員 九州電力株式会社 小丸川開発事務所 (〒884-01 宮崎県児湯郡木城町大字椎木4246)
⁴正会員 工博 九州工業大学教授 工学部 設計生産工学科 (〒804 福岡県北九州市戸畑区仙水町1-1)

継続的な振動状態のなかで施工されるコンクリート構造物の鉄筋とコンクリートの付着強度を調べるため、加振時間、加振方向および加振方法を変えた室内試験を行った。この結果を基に、振動数や加速度が変化した場合に付着強度がどのような影響を受けるかを検討し、どの程度の振動レベルで付着強度が低下するのかを把握した。また、現場での確認試験として、増設計画のある内燃力発電所において、模型壁体による鉄筋の引抜き試験を実施し、付着性状を検討した。

Key Words : bond strength, reinforced concrete, vibration

1. まえがき

離島における内燃力発電所の増設工事は、通常、発電所運転中に施工されることが多い。それらの工事において、発電所機器より生じる振動下でコンクリートが打設される際、コンクリート硬化時の振動が、鉄筋とコンクリートの付着性状に何らかの影響を与えることが懸念される。しかし、コンクリート硬化時に振動を与えた鉄筋とコンクリートとの付着性状に関する研究は、発破振動および橋梁の拡幅に伴う交通振動では報告されているが、継続的な振動下で施工されるコンクリート構造物の設計および施工方法の決定にあたっては、参考となるデータは非常に少ないのが現状である。

本研究は、内燃力発電所や交通振動などで発生する継続的な振動状態の中で施工するコンクリート構造物の鉄筋とコンクリートの付着性状に着目し、振動の大きさにより付着強度がどのような影響を受けるか、さらに、付着強度に影響を与える物理的要因について検討を行ったものである。

図-1に研究フローを示すが、主な研究内容を示すと次のとおりである。

- ① 内燃力発電所の振動と同様な条件下で室内振動試験を行い、コンクリートの付着強度を検討するに当たっての加振時間、加振方向および加振方法の条件を設定した(以下、加振方法選定試験という)。
- ② 加振方法選定試験を踏まえ、内燃力発電所の振動レベル以外に交通振動レベルなどを考え、振動数や加速度が変化した場合に付着強度がどのような影響を受けるかを検討するとともに、どの程度の振動レベルで付着強度が低下するのかを把握した(以下、振動付着試験という)。
- ③ 振動付着試験を踏まえ、付着強度に影響を与える物理的要因の検討を行った。
- ④ 増設計画のある内燃力発電所(現在竣工)で模型壁

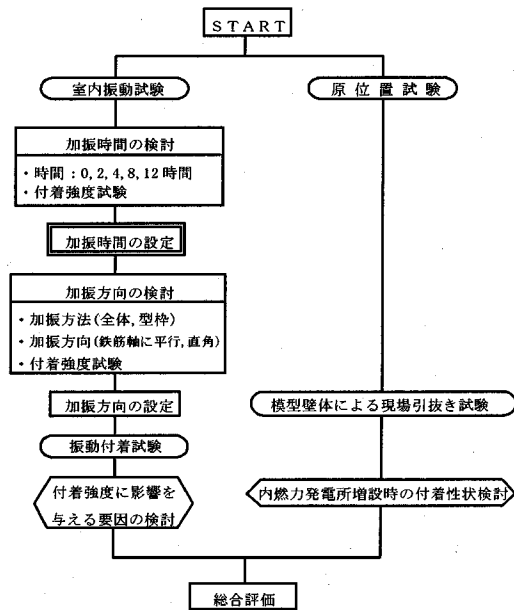


図-1 研究フロー

体による引抜き試験を実施し付着性状を検討した。

2. 加振方法選定試験

コンクリート打設時に振動を受ける鉄筋とコンクリートの付着性状を検討する場合の試験については、一般に確立された手法はない。そこで、事前に加振方法選定試験を実施して、加振時間、加振方向および加振方法を決定した。加振方法選定試験の振動条件としては、内燃力発電所での振動測定結果を参考にして設定振動数を35Hz、設定加速度を180gal、設定片変位を0.037mmとした。なお、この値は当地点で数回測定した値の最大値である。室内

表-2 配合条件

スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	粗骨材の 最大寸法 (mm)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				混 和 剤 (cc/m ³)		
					水	セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤	AE補助剤	流動化剤
12±2.5	4±1	65	20	48.5	172	265	862	997	662	2.7	1852

振動試験で使用した振動台の能力を表-1に示す。

表-1 室内振動実験で用いた振動台の能力一覧表

制御方法	電気式油圧サーボ制御	
振動台寸法	3m×3m	
振動台重量	7.5tf	
最大積載重量	10tf	
加振振動数	0.1~30Hz	
水平方向	最大変位	±150mm
	最大速度	±60cm/sec
	最大加速度	±0.8G
上下方向	最大変位	±70mm
	最大速度	±30cm/sec
	最大加速度	±0.5G
油 圧	210kgf/cm ²	
吐出流量	135ℓ/min×6	

(1) 供試体の形状

加振方法選定試験で使用した供試体の形状を図-2に示す。付着強度試験供試体はASTM¹⁾に規定されている縦15cm、横15cm、高さ30cmの角柱で、直径19mmの異形鉄筋を2本配置したものである。この2本の鉄筋のうち、供試体上部のものを上端筋、下部のものを下端筋と呼ぶことにする。なお、供試体の作製本数は3本とした。

(2) 配合条件

加振方法選定試験で使用したコンクリートの配合は表-2に示すとおりであり、使用したセメント・骨材はJISおよびコンクリート標準示方書などの規格に適合するものである。なお、標準養生材齢28日における圧縮強度は250kgf/cm²程度であった。

(3) 加振時間の設定

室内振動試験で供試体を何時間加振すればよいのかを判断するために、山下らの方法²⁾を参考にして0、2、4、8、12時間と加振時間を変化させて供試体を作製し、材齢7日で付着強度試験を実施した。振動方向は水平とし、供試体の鉄筋軸と平行に起振させた。

図-3に付着強度試験結果(自由端すべり量0.1mmの時の強度)を示す。この図より、付着強度は振動時間が0から8時間までは増加する傾向にあるが、12時間では8時間に比べやや低下することがわかった。このように、付着強度が最大になる振動継続時間と終結時間はほぼ8時間であることから、加振時間は終結時間に余裕を含め10時間と設定した。

(4) 加振方向の設定

加振方法選定試験は振動方向、加振方法および加振方向を表-3に示すよう組合わせて実施した。加振条件の概要は、表-4のとおりである。振動方向は水平方向と鉛直方向の2つとし、その各々について全体加振と型枠加振を実施した。さらに、水平方向については全体加振、型枠加振ともに鉄筋軸と平行と直角に加振した。全体加振は振動を受けている場所に独立したコンクリート構造物を設置する場合を、また、型枠加振は隣接した構造物と一体化して設置する場合を想定している。このような方法で供試体を作製し、付着強度の変化を調べた。図-

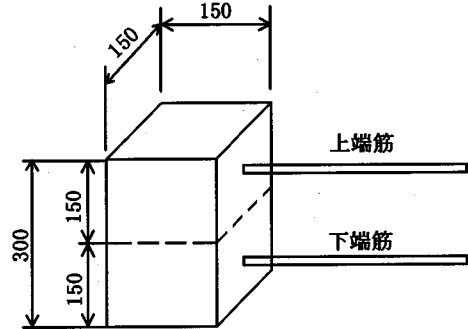


図-2 室内振動実験で作製した供試体の形状(mm)

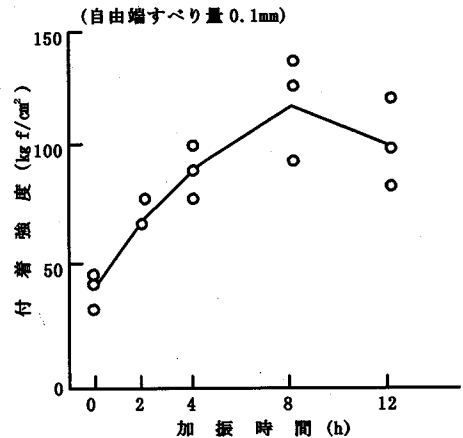
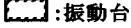
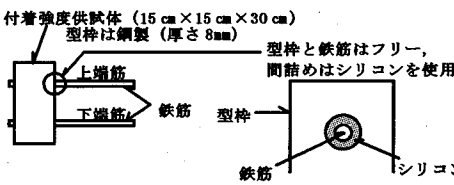
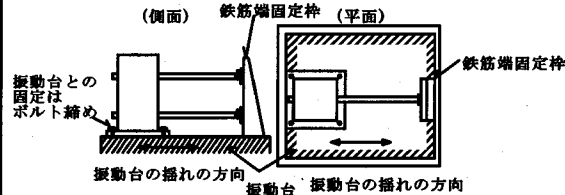
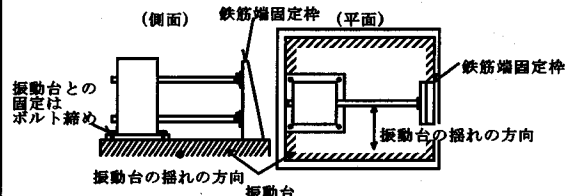
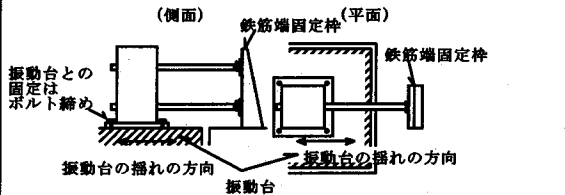
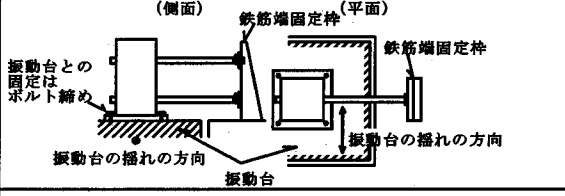
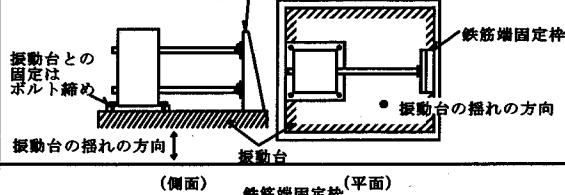
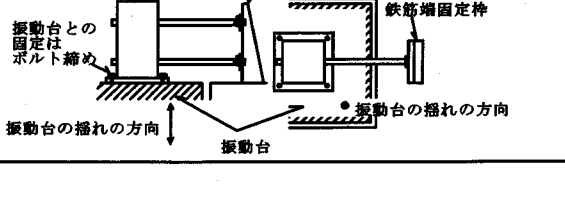


図-3 振動の継続時間を変化させた付着強度試験結果

表-3 加振条件の組合わせ

振動の有無	振動台の振動の方向	加振方法	加振方向	概念図  : 振動台
無	-	-	-	<p>  </p>
有	水平方向	全体加振	鉄筋軸平行	<p>  </p>
			鉄筋軸直角	<p>  </p>
		型枠加振	鉄筋軸平行	<p>  </p>
			鉄筋軸直角	<p>  </p>
	鉛直方向	全体加振	鉄筋軸直角	<p>  </p>
		型枠加振	鉄筋軸直角	<p>  </p>

自由端すべり量:0.1mm

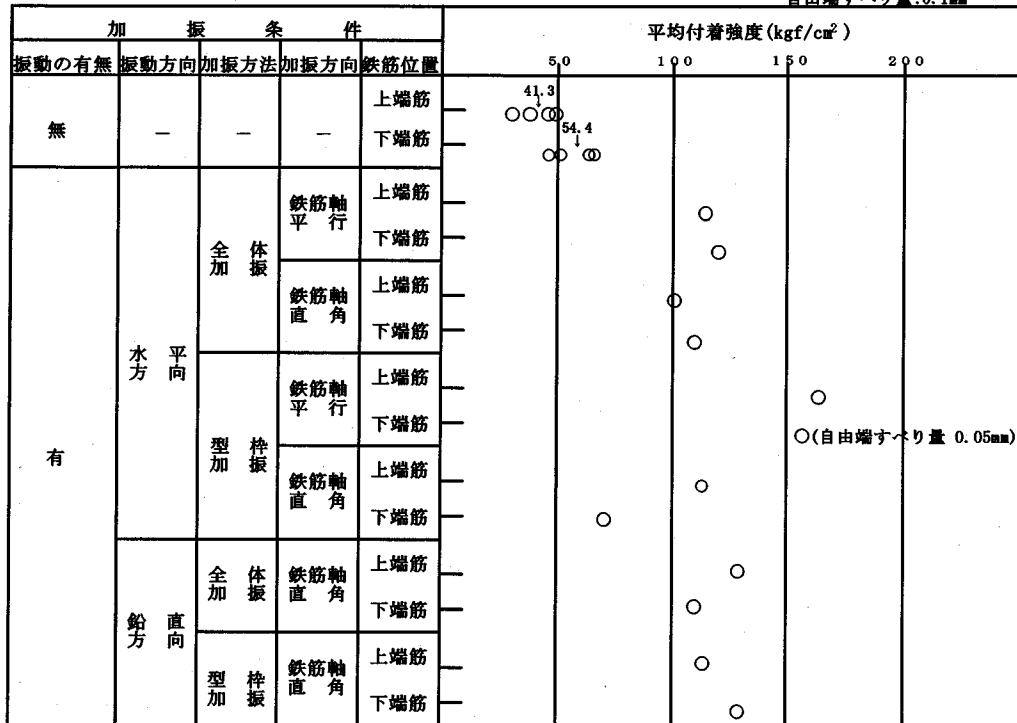


図-4 加振条件の設定を目的とした付着強度試験結果

4に結果を示すが、いずれも無振動のものに比べ振動を与えたものが付着強度は大きくなっている。また、振動を与えた場合の付着強度のうち、振動方向が水平で、型枠加振の鉄筋軸に平行と直角の場合に、他のケースと比べ強度に違いがみられた。特に、鉄筋軸に平行のものは、上端筋、下端筋ともに150kgf/cm²以上と他のケースより付着強度が大きくなり、逆に鉄筋軸に直角の下端筋は70kgf/cm²程度と小さくなった。このようなことから、振動付着試験では、付着強度に違いがみられた型枠加振の鉄筋軸に平行と直角の2ケースについて検討することにした。

(5) 付着強度試験

載荷速度は日本コンクリート工学協会、ASTMなど¹⁾で提案されている引抜付着試験法を参考に2tf/minとした。なお付着強度試験は標準水中養生後28日材齢で行った。

付着強度試験で得られる鉄筋のすべり量は、荷重端と自由端の2箇所測定したが、引抜き荷重が鉄筋の弾性領域を過ぎると荷重端すべり測定リングが不安定になり、その測定値に疑念がもたれたため、本研究では自由端で測定したすべり量を用いることにした。

表-4 加振条件の概要

加 振 条 件		内 容
振 動 方 向		振動台の水平または鉛直の揺れの方向
加振方法	全体加振	鉄筋と型枠を振動台に載せて振動を与える
	型枠加振	鉄筋先端を振動台外側の鉄筋固定枠に固定し、型枠のみ振動を与える
加振方向	鉄筋軸平行	振動方向に対して、鉄筋を平行に配置
	鉄筋軸直角	振動方向に対して、鉄筋を直角に配置

表-5 振 動 条 件

振 動 条 件	設定振動数 (Hz)	設定加速度 (gal)	設定片変位 (mm)
A	35	180	0.037
B	B-1	20	100
	B-2	350	0.222
C	C-1	10	50
	C-2	180	0.456

3. 振動付着試験

振動付着試験の振動条件は、加振方法選定試験で用い

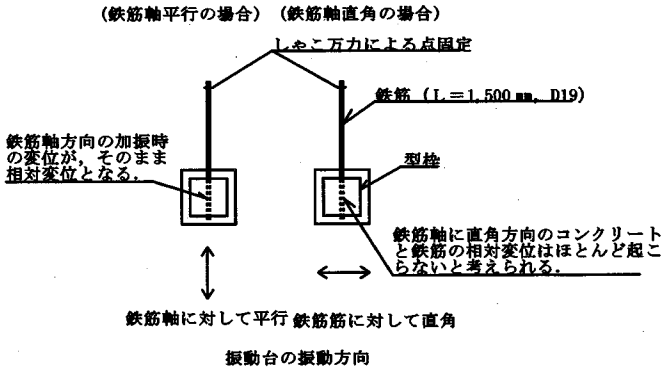


図-6 振動台の振動方向と鉄筋の固定状態

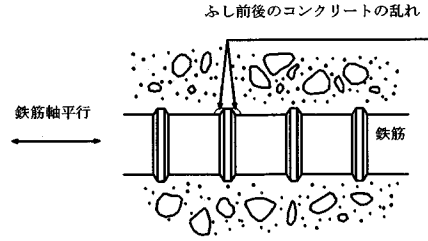


図-7 鉄筋軸平行の型枠加振時の試験鉄筋の動きとふし前後のコンクリートの乱れ

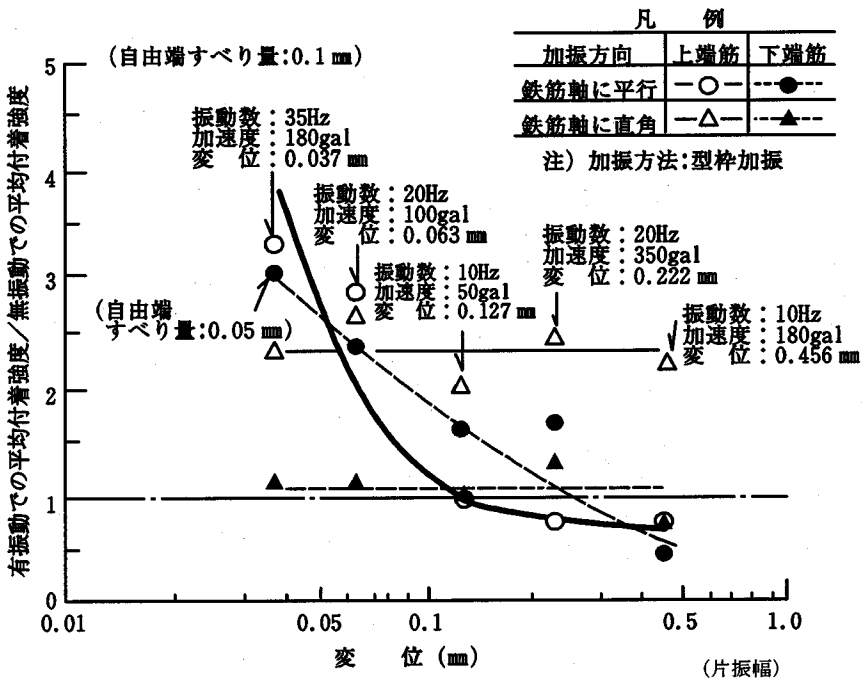


図-8 無振動供試体の全平均付着強度を1.0とした時の有振動供試体の付着強度比と振動変位との関係

たもの(内燃力発電所の振動測定結果を参考にして設定した振動数35Hz, 設定加速度180gal, 設定片変位0.037mm)も含めて, 振動数や加速度が変化した場合に付着強度がどのような影響を受けるかを検討するために, さらに交通振動などを考えて表-5に示す5ケースの振動条件とした。

(1) 付着強度と自由端すべり量との関係

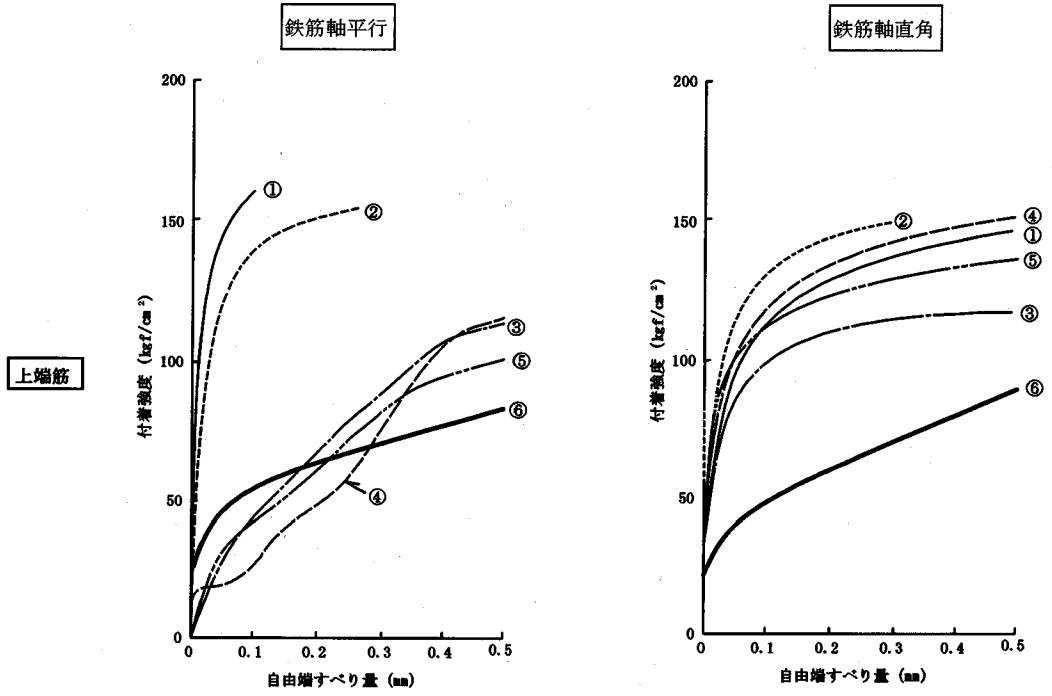
5ケースの振動条件で実施した付着強度試験の結果を図-5に示す。この図は, 平均付着強度と自由端すべり

量との関係を鉄筋軸平行, 鉄筋軸直角の各々について, 上端筋と下端筋に分けて示したものである。なお, 図中の凡例に示した番号は, 振動の変位が小さいものから並べたものである。

a) 鉄筋軸平行の場合

付着強度は振動の大きさに左右され, 振動変位が大きくなるにしたがって低下する傾向にある。

付着強度が大きくなる原因としては, 鉄筋底面にたまるろうとするブリーディング水(エアを含む)が, 振動により排出され, 鉄筋とモルタルの付着面積が大きくなる



凡 例

記 号	加速度 (gal)	振動数 (Hz)	変位 (mm)
①	1 8 0	3 5	0.037
②	1 0 0	2 0	0.063
③	5 0	1 0	0.127
④	3 5 0	2 0	0.222
⑤	1 8 0	1 0	0.456
⑥	無 振 動		—

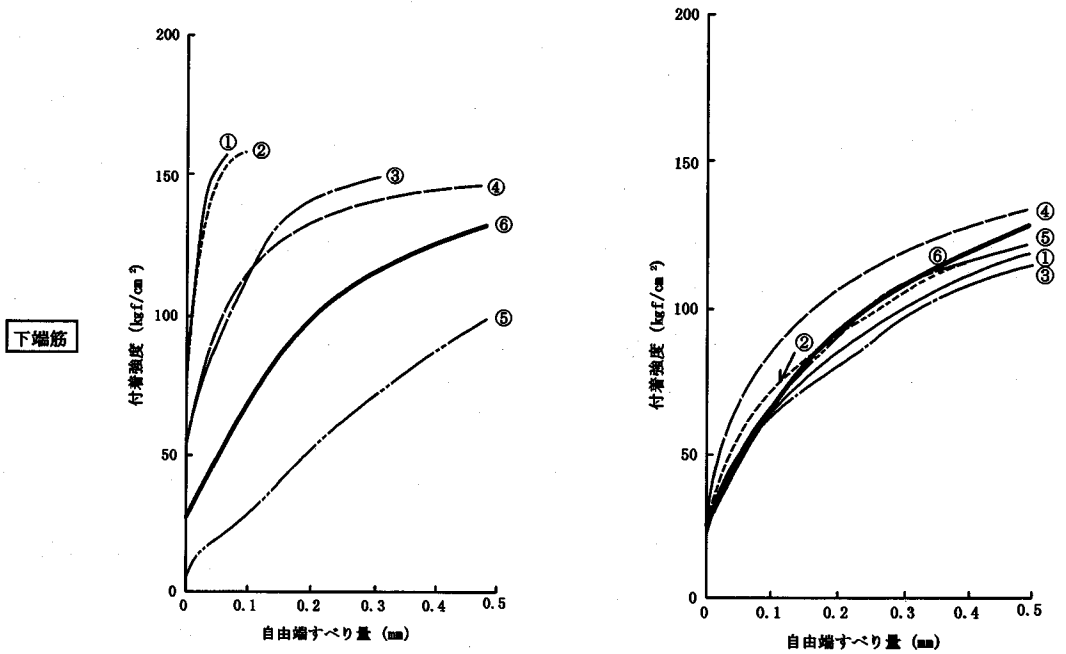
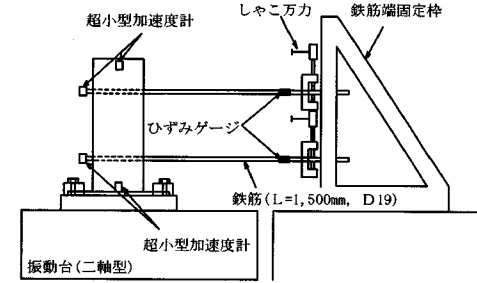


図-5 各振動条件での平均付着強度と自由端すべり量との関係

表-6 使用した計器の数量および仕様

計器名	型式	容量	数量	取付け位置
サーボ型加速度計	ASQ-1BL	±1G	3	振動台上(X, Y, Z方向)
超小型加速度計	AS-1GB	±1G	6	型枠底盤 (鉄筋軸平行, 鉄筋軸直角) 型枠頭部 (鉄筋軸平行, 鉄筋軸直角) 鉄筋端部 (鉄筋軸平行の上端筋) 鉄筋端部 (鉄筋軸平行の下端筋)
ひずみゲージ	KFG-2-120 -D-16-11	-	2	鉄筋軸平行の上端筋と下端筋

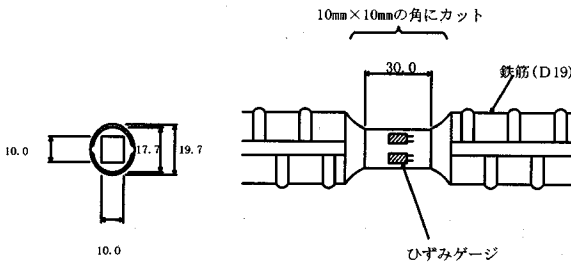


注) 加速度計は振動台の振動方向と同じ方向とるように取り付ける。
ひずみゲージは鉄筋の軸力を測定する。

図-9 超小型加速度計およびゲージの取付け位置

表-7 測定機器一覧

測定器名	型式	台数	仕様
サーボ型加速度計専用コンパインシヨナ	NSQ-500A	3	・測定範囲 加速度 0.0001~0.1G 速度 0.05~100cm/sec 変位 0.05~100mm-p ・ローパスフィルター 100Hz, 30Hz, 10Hz 切り換え
動ひずみ測定器	DPM-6H	2	・測定点数 6点 ・応答周波数範囲 0~5,000Hz ・ローパスフィルター 1,000Hz, 300Hz, 30Hz, 10Hz 切り換え
電照オシログラフ	RMV-540	2	・ガルバノメータ M-500D ・記録振幅 ±25mm



試験鉄筋断面

図-10 ひずみゲージによる軸力測定のための鉄筋加工図(mm)

ことが考えられる。また、逆に付着強度が小さくなる原因としては、ブリーディングは促進されるものの、振動があまりに大きく、鉄筋周辺のモルタルを乱してしまうことが考えられる。

b) 鉄筋軸直角の場合

付着強度は上端筋の場合、無振動のものに比べ全体的に大きくなっており、下端筋の場合は、無振動のものと同程度である。また、付着強度は鉄筋軸平行の場合と異なり振動の大きさにあまり影響を受けない。これは鉄筋軸平行の加振試験では、図-6に示すように鉄筋の一端を固定し、型枠を鉄筋軸と平行に振動させるため、鉄筋とコンクリートとの間には加振試験時の変位がそのまま相対変位として発生することになる。したがって、この場合は図-7に示すように、鉄筋のふしによりふし前後のコンクリートが乱され易いことになる。ところが、鉄筋軸直角の加振試験では、図-6に示すように鉄筋の一端を固定し、型枠を鉄筋軸に直角に振動させるため、型枠内部の鉄筋とコンクリートは同じ加振条件で揺らされていることになり、両者の相対変位は起こらないと考えられる。したがって鉄筋軸に対して直角に振動させた場合の試験では、付着強度がどのケースでも同様な値を示

したのではないかと考えられる。

(2) 付着強度と振動変位の関係

図-8は、無振動供試体の平均付着強度を1として、有振動供試体の強度の増減を調べたものである。なお、図は自由端すべり量が0.1mm時を示した。これより、鉄筋軸平行の場合は、上端筋および下端筋ともに、振動時の変位が大きくなるに従い、付着強度比は低下する傾向が認められ、振動変位が0.1mm程度以上になると上端筋は無振動での付着強度より小さくなる。また、鉄筋軸直角の場合は、上端筋および下端筋ともに、振動変位の大小による影響をあまり受けにくい傾向にある。

4. 供試体作製時の加振条件が付着強度に与える諸要因検討

付着強度に与える要因の検討は、供試体作製時の機械的要因について行った。検討したケースは振動の大きさにより強度の明確な違いがみられた振動条件B-1, B-2とした(表-5参照)。

(1) 供試体作製時の機械的要因の検討

室内振動試験時における鉄筋と供試体の相対的な動きを把握するために、加速度計とひずみゲージを取付け、振動台、型枠および鉄筋の加速度、さらに、コンクリートがしだいに硬化してゆく過程における鉄筋の軸力を測定した。

(2) 測定方法

加速度計およびひずみゲージは、図-9に示す位置に取付けた。なお、加速度計は、鉄筋とコンクリートとの相対変位が明確に測定できると考えられる鉄筋軸平行だけに取り付けた。表-6に使用した計器の数量および仕様を、図-10にひずみゲージによる軸力測定のための鉄筋加工図を示す。測定は表-7の測定機器を使用し、型枠にコンクリートを打設した直後から30分間隔で行った。

(3) 振動台、型枠および鉄筋の動き

図-11および図-12は、振動条件B-1、B-2での振動試験時の振動台、型枠および鉄筋の加速度とコンクリート打設直後からの経過時間との関係を示したものである。

この図より次のようなことが言える。

a) 振動条件B-1の場合

振動台の加速度に対する型枠底盤と型枠頭部の加速度は、測定開始時点より終了時点までの間、ほぼ振動台の加速度 100galと同じ大きさである。

鉄筋の加速度は、上端筋、下端筋ともに打設時点より加振時間4時間までは20gal程度を示しているが、4時間を過ぎる頃より加速度が増加し、7時間を経過する時点では、加速度が90galまで増加し、ほぼ振動台の加速度と同じ大きさとなっている。また、鉄筋の加速度増加の現象は、下端筋の方が上端筋より多少早く現れている。

b) 振動条件B-2の場合

設定加速度350galに対して、振動台、型枠底盤および型枠頭部の測定加速度は、頭部の方が幾分小さい値を示しているものの、ほぼ同じ大きさとなっている。この傾向は鉄筋軸平行および鉄筋軸直角についても同様である。

鉄筋の加速度は、振動条件B-1と異なり、コンクリート打設時点より試験終了時点まで20gal程度で変わらない。この現象は上端筋および下端筋ともに同じである。

以上のような結果から次のように考察できる。

振動条件B-1では、鉄筋の加速度に変化が現れ、試験終了時点に、ほぼ振動台の加速度と同じになった。この現象は、型枠内に打設したコンクリートが時間の経過と共に凝結が進み、加振時間が4時間を過ぎる頃より、鉄筋を拘束しはじめたためと考えられる。すなわち、B-1の振動条件(加速度100gal, 振動数20Hz, 変位0.06

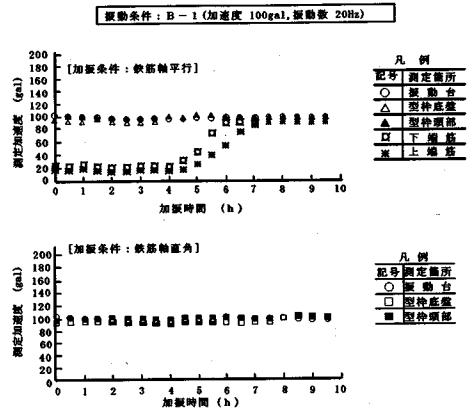


図-11 振動条件B-1での測定加速度と加振時間との関係

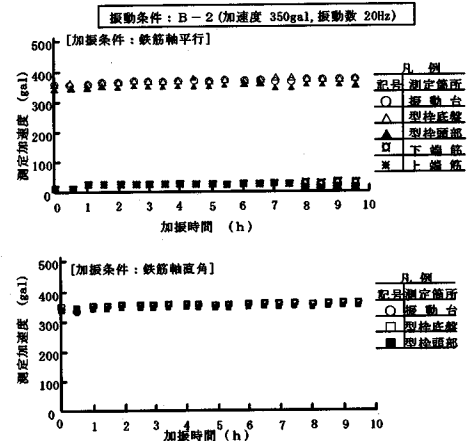


図-12 振動条件B-2での測定加速度と加振時間との関係

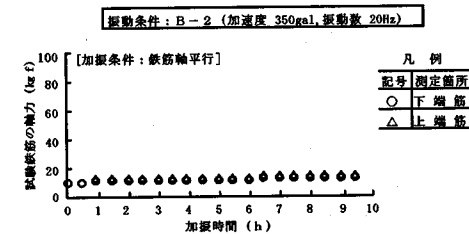
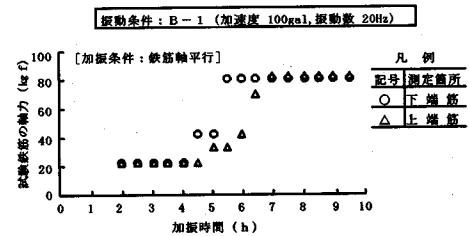


図-13 ひずみ測定で求めた加振実験中の試験鉄筋軸力と加振時間との関連

表-8 配合条件 (原位置試験)

スラブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	粗骨材の 最大寸法 (mm)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				混 和 剤 (cc/m ³)		
					水	セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤	AE補助剤	流動化剤
12±2.5	4±1	52	20	48.2	172	331	779	942	828	-	2317

mm)程度では、コンクリートの凝結力が強く、振動下でも鉄筋を拘束できるが、B-2の振動条件(加速度350gal, 振動数20Hz, 変位0.22mm)のようにかかなり大きな振動下では、コンクリートの凝結力は、鉄筋を拘束することができなかつたためと考えられる。

(4) 加振試験中の鉄筋軸力の動き

図-13は、加振試験中に測定した鉄筋の軸力変化を加振時間の経過に伴って示したものである。これより以下のことが言える。

- ① 振動条件B-1の鉄筋軸力は、コンクリート打設時点より加振時間4時間までは約20kgfであるが、4時間を経過する頃より増え始め、7時間程度で約80kgfとなっている。
- ② 軸力の増加は、下端筋の方が上端筋に比べ早く現れる。
- ③ 振動条件B-2の鉄筋軸力は、コンクリート打設時点より試験終了時点まで、ほとんど変化することなく、両鉄筋ともに約10kgfで推移している。
- ④ 振動条件B-1およびB-2で測定した軸力と加振時間との関係は、図-11および図-12に示した加速度測定結果と密接に関連している。

このように、コンクリートの凝結作用によって、鉄筋が拘束される状況を鉄筋の軸力変化として把握することにより、付着強度が期待できるかどうかの判定が可能であることがわかった。また、前述したように加速度を測定することでも判定可能であるが、測定方法から考えると軸力測定の方が簡便である。

5. 原位置試験による内熱力発電所増設にかかわる付着性状の検討

発電所機器より生じる継続的な振動下での鉄筋とコンクリートの付着力を検討するために、図-14に示す発電所敷地内で建屋の壁を模擬した試験壁(以下、模型壁体と呼ぶ)を作製し、現場引抜き試験を実施した。なお、模型壁体は増設地盤と無振動地盤の2箇所で作製した。

(1) 原位置試験方法

a) 模型壁体の構造

作製した模型壁体は図-15に示すとおりで高さ3.5m

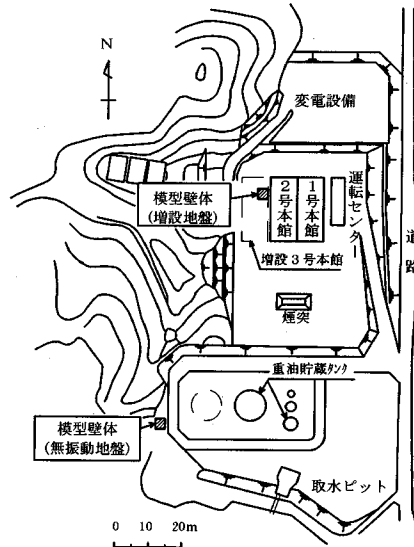


図-14 内熱力発電所での模型壁体作製位置

(壁体部3.0m)、幅2.0m、壁厚0.15mで、引抜き試験のための鉄筋(異形鉄筋D19)を高き方向に5段(3本/段)配置した。ここでは最上段をA段、以下、下位に行くに従いB段、C段、D段、E段とした。模型壁体に配置した引抜き試験用鉄筋は、図-15に示したように鉄筋先端を既設建屋の壁に固定したもの(以下、鉄筋端固定と呼ぶ)と、固定しないもの(以下、鉄筋端自由と呼ぶ)の2種類の拘束条件を採用しており、この拘束条件の違いによって付着強度に差が生じるかどうか検討できる構造とした。

b) 配合条件

原位置試験で使用したコンクリートの配合表を表-8に示す。なお、本材料は増設時に使用される予定のものを使用したため、室内試験とは若干配合条件が異なっており、標準養生材齢28日における圧縮強度は300kgf/cm²程度(室内試験は約250kgf/cm²)であった。

c) 模型壁体設置箇所の振動測定

模型壁体の作製に先立ち、発電所機器より生じる振動がどの程度の大きさであるか把握するために振動測定を行った。振動測定箇所は振動源である発電機近傍および模型壁体を作製した地盤を対象とした。測定項目は加速度と変位である。振動測定結果は、表-9に示すとおり

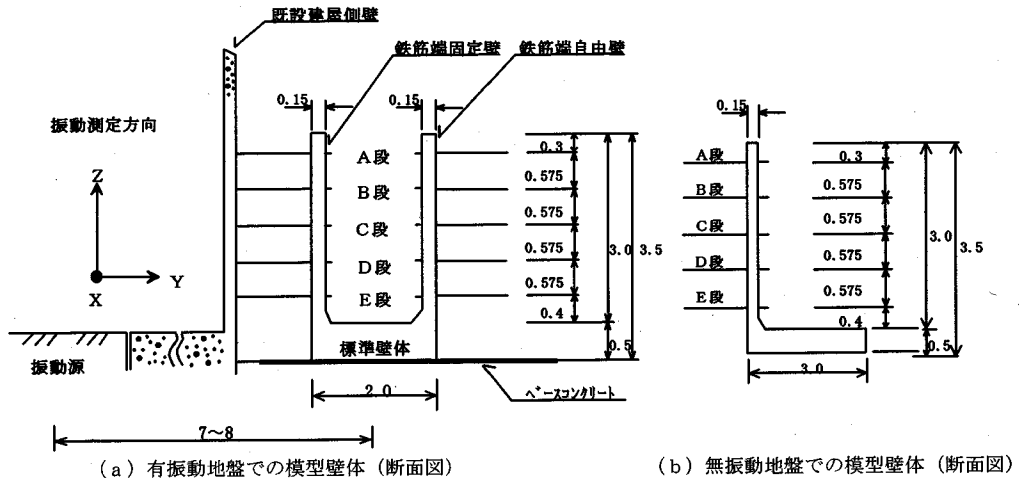


図-15 模型壁体の概念図 (m)

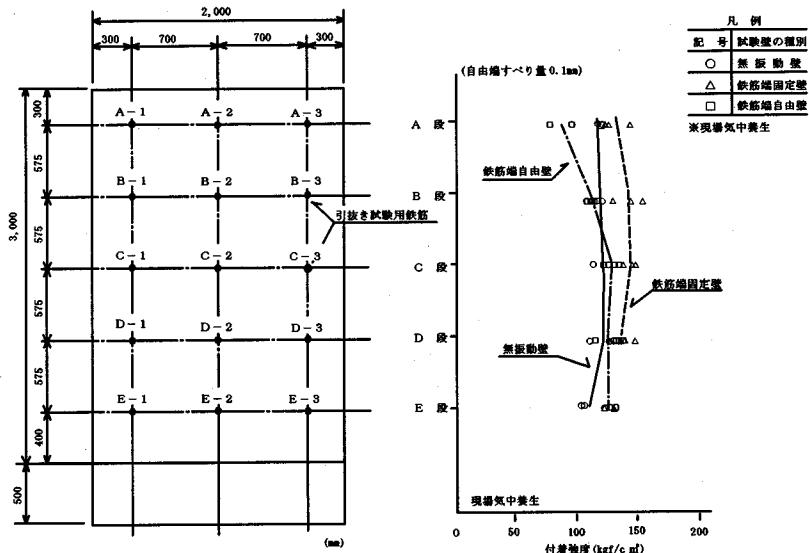


図-16 模型壁体での試験位置と自由端すべり量が0.1mmの時の付着強度との関係

である。この結果によれば、振動源である発電機近傍の加速度は、測定した3方向のうちY方向が最も大きく110 galであった。

(2) 現場引抜き試験

現場引抜き試験では、模型壁体に高さ方向に5段(3本/段)配置した鉄筋を油圧ジャッキを用いて直接引抜いた。試験方法は室内試験と同様とした。

(3) 試験結果

図-16は、模型壁体での試験位置と自由端すべり量が0.1mmの時の付着強度との関係を示したものである。なお、

表-9 振動測定結果

測点	測定項目	測定方向		
		X	Y	Z
振動源	加速度 (gal)	100	110	40
	振動数 (Hz)	130	34	102
	変位 (μm)	7	22	13
模型壁体 作製地盤	加速度 (gal)	33	33	17
	振動数 (Hz)	34	34	34
	変位 (μm)	12	11	7

図中の線は各段で得られた付着強度の平均値を結んだものである。ただし、鉄筋端固定壁のE段については、鉄

筋破断の危険性から自由端すべり量が0.1mmで3本の平均が得られなかったのでA段からD段までの表示に留めた。この結果より、無振動壁ではE段で110kgf/cm²程度とやや付着強度が小さくなっているが、他の段とあまり差はなく、模型壁体全体でみると120kgf/cm²程度で試験位置での違いは認められない。

鉄筋端固定壁の付着強度は、A段～E段にかけて120kgf/cm²～150kgf/cm²程度の範囲にあり、無振動壁および鉄筋端自由壁と比較して全体的に大きくなっている。これは、3. (1)でも述べたように振動によりブリーディングが促進され鉄筋とモルタルの付着面積が大きくなったためと考えられる。

鉄筋端自由壁の付着強度は、C段～E段でほぼ130kgf/cm²程度と変わらないが、B段、A段と壁体上方へ行くに従って小さくなっている。模型壁体作製時に実施した壁体底部と頂部のコンクリート面での振動測定結果によれば、振動は頂部の方が底部に比べて5～6倍程度大きい値を示しており、型枠外の鉄筋（長さ135cm）のぶれによる鉄筋周辺のモルタルの乱れの程度が壁体上部程大きかったためと思われる。

6. 結言

内燃力発電所や交通振動などで発生する継続的な振動状態の中で施工する構造物の鉄筋とコンクリートの付着性状に着目し、供試体作製時に与える振動の大きさにより付着強度がどのような影響を受けるかを、室内外の振動試験にもとづいて検討した。更に、付着強度に影響を与える機械的要因についても検討した。得られた結果をまとめてみると次のようである。

a) 供試体作製時に振動を与えた場合の付着強度

振動を与えた場合の付着強度は、加振方向からみると、鉄筋軸平行の方が鉄筋軸直角に比べ振動の影響を受け易い。また、鉄筋軸平行の上端筋の付着強度は、振動時の変位が0.1mm以上になると、無振動の強度より小さくなる（図-8参照）。

さらに、鉄筋軸平行の場合、振動の大小により付着強度が変化し、無振動のものより大きくなるものと、逆に小さくなるものに区分できる。付着強度が大きくなる原因としては振動によってブリーディング水が排出され、結果として鉄筋とモルタルの付着面積が大きくなるためと考えられ、小さくなる原因としてはブリーディングの促進以上に鉄筋周辺のモルタルを乱してしまうためと考察できる。

b) 供試体作製時の加振条件が付着強度に与える諸要因

室内振動試験時の鉄筋と供試体の相対的な動きを加速

度や軸力で測定し、コンクリートの凝結作用による鉄筋の拘束状況は、与えた振動の大きさにより異なり、振動が大きい場合の鉄筋は拘束されないことがわかった。このように、コンクリートの凝結作用によって、鉄筋が拘束される状況を鉄筋の軸力変化として把握することにより、付着強度が期待できるかどうかの判定が可能であることがわかった。

c) 原位置試験による内燃力発電所の増設にかかわる付着性状の検討

鉄筋端固定壁の付着強度は、無振動の場合よりも大きい値を示した。これは、振動によるブリーディングが促進され鉄筋とモルタルの付着面積が大きくなったためと考えられる。

これに対し鉄筋端自由壁の付着強度は、下部の方は無振動の場合より大きくなっているが、上部になるにしたがって小さくなっている。これは、上部方向は振動によって鉄筋周辺のモルタルが乱されたためと考えられる。

d) 室内と原位置振動試験の傾向

付着強度は無振動の場合より大きくなる範囲と小さくなる範囲が存在する。この傾向は室内および原位置振動試験も同様であり、ブリーディングを促進し鉄筋とコンクリートの付着面積を大きくするような振動下では、付着強度は大きくなるといえる。

7. あとがき

継続的な振動状態のなかで施工される構造物の鉄筋とコンクリートの付着性状に関する研究事例はほとんどなかったため、試験条件の設定や試験装置、測定方法等に細心の注意を払い、試行錯誤しながら行った。この結果、所期の目的を達したと考えているが、研究過程において次のような検討事項があることも判明した。

今回、コンクリートの耐久性については検討しなかったが、コンクリート中の空気量は振動によって減少するので、振動下におけるコンクリートの耐久性については、今後検討する必要がある。また、付着強度に影響を与える物理的要因については、今回の研究ではデータが少なかつたこともあり、十分把握できなかったため、今後、これらの要因についてはデータ数を増やし検討することも必要であろう。

なお、現在開発が進められている高流動化コンクリートは、今回の研究では対象としなかったが、振動下での性状については、ほとんどわかっておらず今後の研究課題である。

最後に、本研究を実施するにあたり、終始ご指導、ご協力をいただきました、財団法人電力中央研究所ならびに西日本技術開発株式会社の皆様へ厚く謝意を表します。

参考文献

- 1) 岡田, 六車編集: コンクリート工学ハンドブック, 朝倉書店,
p. 417, 1984.
- 2) 山下, 平野, 塚山, 神垣: 養生中に継続振動をうける
コンクリートの諸性質について, セメント・コンクリ
ート, No. 287, pp. 30~38, 1971.

(1995. 12. 1 受付)

STUDY ON THE BOND STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE
INFLUENCED BY A CONTINUOUS VIBRATION DURING HARDENING

Yoshitake ETO, Toshimitu HIRANO, Masaki FUKAIKE and Takashi IDEMITU

In order to investigate the bond strength of reinforced steel and concrete of a reinforced concrete building, which is constructed in a continuously vibrating environment, we implemented room tests by way of changing vibrating times, directions and methods.

Based on these results, we studied how the bond strength might be impacted when changing vibration frequency and acceleration, and we identified the level of vibration by lowering the bond strength.

In addition, as an in-situ test, we executed a pull-out test of the reinforced steel using a model wall at an internal combustion power station which is scheduled to undergo additional construction.