

論文 CG を用いた感性実験によるコンクリート構造物の許容ひびわれ幅の検討

水口裕之*1・山中英生*2・小川浩子*3・横井克則*4

要旨：コンクリート構造物の許容ひびわれ幅を美観および不安感を評価指標として検討した。連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物では耐久性以外の要因から許容ひびわれ幅が決定されることが考えられる。そこで、実在する土木および建築構造物の写真にコンピュータグラフィックス（CG）を用いて、ひびわれ幅、パターン、本数を変えた模擬ひびわれを描き、一般人および専門家を対象としたアンケートによって許容ひびわれ幅を検討した。その結果、土木構造物と建築構造物とで値は異なるが、50%の人々が問題を感じる値とした許容ひびわれ幅は0.8～1.4mm程度となった。

キーワード：許容ひびわれ幅、美観、不安感、感性実験、連続繊維補強材

1. はじめに

コンクリート構造物の許容ひびわれ幅は、土木学会のコンクリート標準示方書[1]によれば、構造物の機能、重要度、使用期間、構造物が置かれる環境条件、鋼材の種類や応力状態、かぶり、ひびわれ幅など多くの条件を考慮して決めることとなっている。鉄筋など鋼材で補強した場合には、主として鋼材の腐食から許容ひびわれ幅が決められることになる。

一方、炭素繊維、アラミド繊維など連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物では、連続繊維補強材が一般には腐食することがないので、鉄筋など補強材の腐食から決められる許容ひびわれ幅を、大きくすることが考えられる。しかし、コンクリート構造物のひびわれ幅が大きくなると、その構造物を見る人々に不安感を起こさせたり、美観上の障害になることが考えられる。

これに関して、土木学会の連続繊維研究小委員会[2]では、連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の許容ひびわれ幅は、美観から決定され、許容ひびわれ幅として、0.09～0.52mmを示している。しかし、これは視覚による判断結果でなく、さらに検討が必要と考えられる。

本研究は、コンピュータ・グラフィックス（CG）を用いて、実在のコンクリート構造物の写真にひびわれ幅、本数、パターンが異なる模擬ひびわれを発生させ、不安感および美観に関するアンケート調査を一般人および専門家を対象に行い、不安感および美観を評価指標として、許容ひびわれ幅に及ぼす各種要因の影響を調査し、許容ひびわれ幅の決定方法について試みたものである。

2. アンケート調査

2.1 対象構造物および対象部材

対象構造物および対象部材は、①人目にふれやすいもの、②構造材として明確なもの、③美観に影響する部位、④不安感に影響する部位の4条件で、構

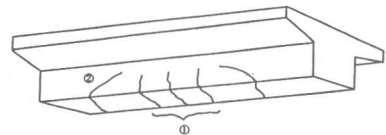


図-1 模擬ひびわれパターンの例

*1 徳島大学教授 工学部建設工学科, 工博(正会員)
 *2 徳島大学助教授 工学部建設工学科, 工博
 *3 徳島大学大学院 工学研究科建設工学専攻
 *4 高知工業高等専門学校助手 土木工学科, 工修(正会員)

造物としては、既報 [3] と同じ市街地にある 4 径間連続ラーメン鉄道高架橋および公共建築物とした。対象部材は、両構造物の柱およびはりとした。

2.2 模擬ひびわれ

ひびわれパターンは、ひびわれが最も目立つものとして①柱部材で部材軸直角方法、力学的に発生が予測されるものとして②はり部材で部材軸直角方向および③はり部材で部材軸と角度をなす方向 (図 - 1 参照) の 3 種とした。ひびわれ長さは一定で枝ひびわれはないひびわれとし、ひびわれ幅は、表 - 1 に示す本数が 1 本の場合を基準とし、本数が 2 および 3 本とした場合は、式 (1) の α および β をそれぞれ 3 種に変え、計 15 種 (表 - 1 参照) とした。なお、ひびわれ本数を 3 本までとしたのは、最も近くから眺める場合を想定し、予備実験の結果から 2 m の距離から構造物を眺めることとし、この場合明瞭に見える範囲が約 1 m であることなど視野を考慮したからである。

$$N^{\alpha} \cdot C = \beta \quad (1)$$

ここで、 N : ひびわれ本数、 α : 重み、 C : ひびわれ幅、 β : 定数である。

また、ひびわれ間隔は、土木学会コンクリート標準示方書で示されている曲げひびわれ間隔の計算式 [4] を用いて求め、それらの値を参考にして、柱部材では 300mm、はり部材では 200mm とした。

模擬ひびわれの一例を図 - 2 に示す。

2.3 アンケート調査

模擬ひびわれは、対象構造物の全景写真と近景写真を一枚の台紙に貼付し、それと対比しながらひびわれ幅および本数が異なる写真が提示できるものとした。なお、写真の大きさは、対象構造部材を 2 m 離れたところから見ている場合と写真を 30cm の距離で見るときの範囲の視角が同じになるようにした。また、アンケートでは、ひびわれが発生しても補強鋼材の腐食による場合のような耐久性の低下には影響しないことを前提とすることを説明しておいた。

アンケートは、評定尺度法および一対比較法の 2 種類の方法で行った。一対比較法は、各模擬ひびわれの微妙な違いの順位付けを得ることならびに評定尺度法の有効性を検討するために行った。しかし、すべてのケースについてアンケート調査をすることは、被験者の負担から困難であり、一対比較法は、不安感および美観により影響を与えると考えられる土木構造物でははり部材、建築構造物では柱部材を対象とした。

アンケートは、評定尺度法の場合は、15 種計 90 ケースの模擬ひびわれをランダムに提示し、美観上の問題および不安感を「感じる」「どちらでもない」あるいは「感じない」の 3 段階で回答してもらった。また、一対比較法の場合は、各部材について 15 組づつ計 30 組に対してど

表 - 1 模擬ひびわれ幅と本数

		ひびわれ幅, mm
本 数	1	0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0, 2.4
	2	0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0
(本)	3	0.4, 0.8, 1.2, 1.6

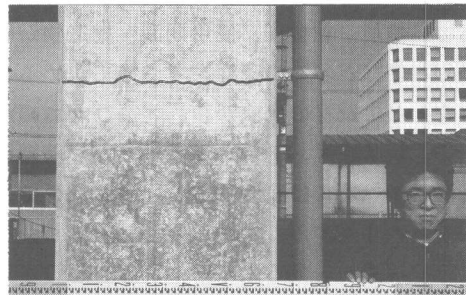


図 - 2 模擬ひびわれの一例

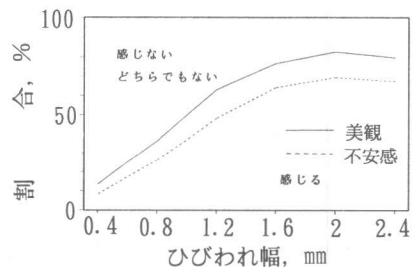


図 - 3 ひびわれ幅と美観および不安感

ちらにより問題を感じるかを回答してもらった。被験者は、大学生、高校生、一般女性事務職員、主婦など一般人62名および建設関係の行政担当者、公団職員、建設コンサルタント、施工管理者、レディーミクストコンクリート関係者、建築家などの技術者（専門家）50名とした。

3. アンケート結果および考察

3.1 各種要因の影響

3.1.1 ひびわれ幅および本数の影響

ひびわれ幅および本数の影響をクロス集計した結果を図-3から5に示す。図-3に見られるように、ひびわれ幅が大きくなるに従って美観に問題および不安感を感じる割合が増加しており、同じひびわれ幅では美観の方に問題を感じる人の割合が不安感を感じる割合より10~15%多くなっている。ひびわれ本数に対しては、図-4および5に示されているように、本数が多くなるにつれて美観および不安感に対して問題を感じるとの回答が増加している。同じひびわれ幅では1本から3本と増加すると、問題を感じるとする割合は、15~20%程度大きくなっている。

3.1.2 ひびわれパターンの違いの影響

クロス集計の結果は、図-6に見られるように、部材軸に直角のひびわれの方が部材軸に角度をなすひびわれより美観、不安感ともに問題を感じると回答した割合が大きくなっている。これは、柱では今回用いたひびわれが、部材幅全幅のひびわれとしていることも一因と思われる。

3.1.3 対象部材の違いの影響

クロス集計の結果は、図-7に示すように、柱部材の方がはり部材より問題を感じると回答した割合、美観の方が不安感より問題と答えた割合も大きくなっている。その差はともに10~15%程度である。

3.1.4 対象構造物の違いの影響

図-8に示されているように、建物の方が美観、不安感ともに問題を感じると回答した割合が多くなっている。その差は、美観の場合が大きく20%であり、不安感では5~10%程度となっている。

3.1.5 被験者の専門性の違いによる影響

図-9~11に被験者の専門性の違いによる影響のクロス集計結果の例を示す。

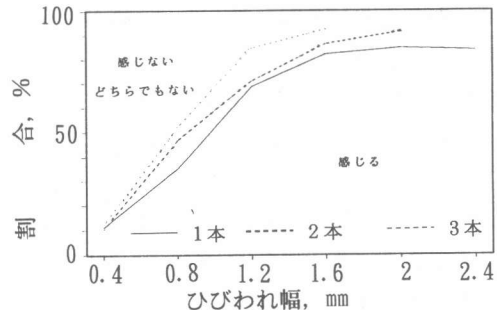


図-4 ひびわれ本数と美観

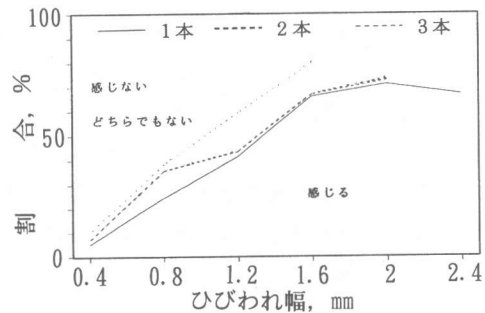


図-5 ひびわれ本数と不安感

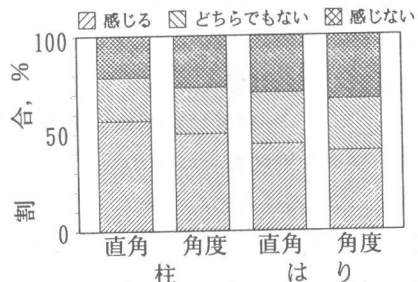


図-6 ひびわれパターンの影響

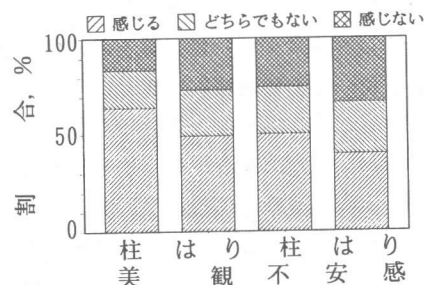


図-7 対象部材の違いの影響

これらの図に見られるように、専門家の方がより厳しいひびわれ条件で問題を感じるとしている。

ひびわれ幅では、専門家はひびわれ幅が小さい場合でも問題と感ずる割合が大きく、幅が大きくなると一般人との差はほとんどなくなっている。対象部材、対象構造物、ひびわれパターンが異なる場合の専門性の違いの影響は、10%程度の割合の差となりわずかと考えられる。このように、専門性の違いは、ひびわれ幅が小さい場合すなわちひびわれが発生すること自体に対する認識の違いによる影響が顕著と思われる。

3.1.6 分散共分散分析による要因効果の検定

次に、以上で述べた被験者や構造物・部材・ひびわれパターンの違いが美観や不安感に与える影響の有意性を検討するため、これらの分類を主要因としてひびわれ幅、本数を共変量とする分散共分散分析を行った。表-2に示されているように、有意水準1%で効果が棄却されるのは、美観・不安感いずれの場合もひびわれパターン（直角か角度ありか）で、他の要因は有意となっている。したがって、これらの結果を用いて許容ひびわれ幅を検討できることになる。ただし、F値から判断すると被験者の違いは比較的有意性が低いことがわかる。

3.2 許容ひびわれ幅

—線形判別関数による分析—

3.2.1 線形判別関数

許容ひびわれ幅を求めるために、評価尺度法による結果を用い、ひびわれ幅と本数を変数として、ひびわれパターン、部材、構造物の種別および被験者の専門性の違いを組合せて、美観、不安感それぞれ12種の線形判別関数を求めた。また、一対比較法による結果を用いて、美観および不安感それぞれ4種の線形判別関数を求めた。

各要因の標準化係数の大きさが各要因の影響割合を示すが、今回の調査では、ひびわれ幅の標準化係数が本数の標準化係数の2~4倍となり、ひびわれ幅の方が大きな影響を及ぼす結果となっている。また、アンケート方法の違いの影響は、ひびわれ幅の標準化係数はほぼ等しいが、ひびわれ

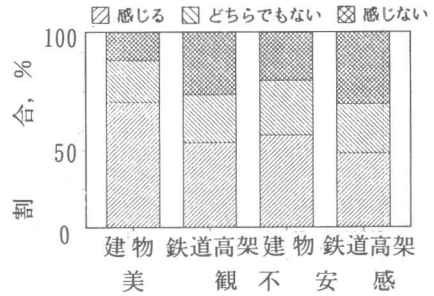


図-8 対象構造物の違いの影響

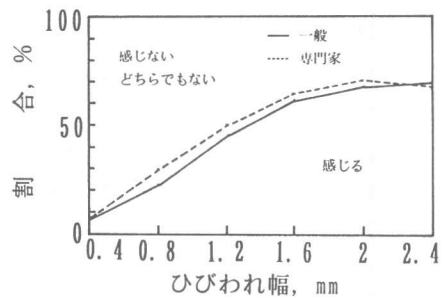


図-9 ひびわれ幅と不安感 (専門性の影響)

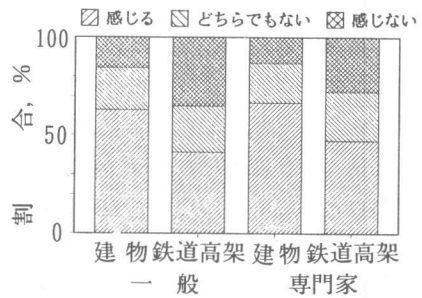


図-10 美観に及ぼす対象構造物の違い (専門性の影響)

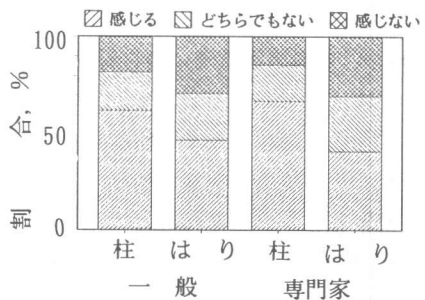


図-11 美観に及ぼす対象部材の影響 (専門性の影響)

表-2 各種要因の分散共分散分析結果

共変量および要因変数	F 値 (F 値 確 率)	
	美 観	不 安 感
共変量全体	2499.2 (.000)	1943.4 (.000)
びびわれ幅	4997.7 (.000)	3881.5 (.000)
本数	379.1 (.000)	348.2 (.000)
主要因全体	328.4 (.000)	105.5 (.000)
被験者	58.4 (.000)	27.6 (.000)
構造物	899.5 (.000)	233.0 (.000)
部材	273.2 (.000)	135.2 (.000)
びびわれパターン	.1 (.665)	1.8 (.173)

注) 2次以上の交互効果は無視している。

本数の標準化係数は評定尺度法によるものが、一対比較法によるものの約2倍となっている。これは、今回、一対比較法ではびびわれ幅と本数とが異なる組合せでの比較を行ってもらい、評定尺度法ではびびわれ幅と本数とが異なるものをランダムに評価してもらったための影響と考えられ、今後検討必要がある。しかし、びびわれ本数の標準化係数は、幅の係数の1/5から2/1となっており、幅の影響が大きく、今回の判別関数でもかなりの精度で許容びびわれ幅を求めることができると思われる。

3.2.2 線形判別関数による許容びびわれ幅

判別曲線は、図-12のようになるので、感じると答えたものの割合が50%になるびびわれ幅を許容びびわれ幅とすると、びびわれ本数によって、許容びびわれ幅は異なり、本数が多い方がいずれの場合も細いびびわれ幅が許容値となっている。そこで、びびわれ本数が3本の場合の許容びびわれ幅を示すと表-3となる。

表に見られるように、専門家によるものが、若干の例を除いて、一般人の場合より、許容びびわれ幅は小さくなっている。しかし、その差は建物の柱の場合以外では大きくなく、3.1.6の結果と一致している。専門家による建物で柱の場合は、許容びびわれ幅が0.16mmと他の場合に比べて極端に小さくなっている。これは、専門家のびびわれに対する意識によるものと考えられる。また、アンケートで示した最小びびわれ幅0.4mmより小さくなっているのは、びびわれ幅0mmの場合には0%の人々が問題と感じると仮定していることにより求められるからである。

建物と鉄道高架での許容びびわれ幅を比較すると、建物に対する許容びびわれ幅の方が小さくなっている。

また、美観と不安感とによる差は、美観によるものが若干小さい値となっているが、大差ないと考えられる。

はりでのびびわれパターンの違いによる影響もほとんどないといえる。これは、3.1.6で述べたことと一致している。

びびわれ本数が1本の場合の一般人を被験者とした同様の研究結果[3]と比較すると、全般的に今回の結果が大きな値となっている。これは、1本の場合のアンケート方法が、びびわれ幅を段階的

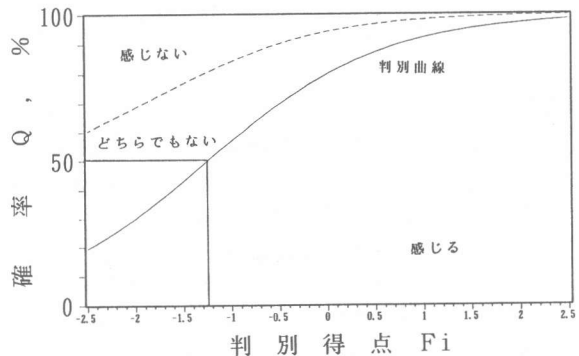


図-12 判別曲線

表-3 許容ひびわれ幅(ひびわれ本数3本)

単位:mm

部 ひびわれパターン	材	柱 部材軸に直角		は り 部材軸に直角		は り 部材軸に角度	
		専門家	一般	専門家	一般	専門家	一般
美 観	鉄道高架	0.81	0.90	1.23	1.28	1.20	1.37
	建 物	0.16	0.74	0.59	0.76	0.78	0.77
不安感	鉄道高架	0.94	1.07	1.29	1.15	1.32	1.45
	建 物	0.81	0.97	1.04	0.97	1.09	1.08

に提示した結果であり、今回のランダム提示と異なっており、アンケート方法による影響も考えられる。なお、不安感に対する許容ひびわれ幅は、既往の研究では、16%の人が問題と回答した場合としており、許容ひびわれ幅をどの割合での値とするかについては、今後の課題としたい。

4. まとめ

ひびわれ幅、本数、パターン、構造物の種類、部材の種類などを変え、美観および不安感を評価指標とした今回の結果からは、専門家による建築物の柱部材に関するひびわれに対する意識によると思われる例外を除くと、50%の人々が問題があると感じる値とした許容ひびわれ幅は、0.8~1.4mm程度となった。その値は、土木構造物と建築構造物とで異なり、これらを区別すれば、それ以外の要因による差は小さくなく、それぞれ一つの許容ひびわれ幅とできる結果となった。

また、美観および不安感を評価指標としてコンクリート構造物の許容ひびわれ幅を決めるためには、ひびわれ幅のみでなく、背景、ひびわれ本数、ひびわれ長さ、ひびわれ間隔、ひびわれパターン、構造物の種類、部材の種類などの要因、感性実験の方法など多くの要因があり、これらを適切に取り扱う必要がある。今回用いたCGによる感性実験は、被験者の感性として視覚で判断できるので、一つの有効な方法であると考えられる。なお、許容ひびわれ幅そのものの値については、これらの影響について更に検討する必要があると考えられる。

謝 辞

本研究を行うに当たり、模擬ひびわれの作成にご援助いただきました徳島大学大学院生永峰崇二氏に感謝致します。

参考文献

- 1] 土木学会；コンクリート標準示方書 平成3年版 設計編，土木学会，pp.84-85，1991.
- 2] 土木学会；コンクリートライブラリー第72号 連続繊維補強材のコンクリート構造物への適用，土木学会，pp.35-37，1992.
- 3] 水口，山中，横井；連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の許容ひびわれ幅，第20回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集，pp.79-82，1993.
- 4] 1]と同じ，pp.85-86.
- 5] 水口，山中，岩崎；CGを用いた感性実験による構造物の許容ひびわれ幅の検討，土木学期学会中国四国支部第46回研究発表会講演概要集，pp.644-645，1994.