

高所に設けられる柵状部位の高さと厚みが墜落事故防止機能に及ぼす影響

The Effect on Prevention of Accidental Fall by Height and Thickness of Guard-fence

矢島規雄*, 直井英雄**

Yajima Norio, Naoi Hideo

要 旨

本研究は、高所からの墜落事故防止のために設けられる柵状部位の高さと厚みが、墜落防止機能に及ぼす影響を、3つの実験を通して定量的にとらえようとするものである。3つの実験とは、成人の人体ダミーを用いた墜落再現実験、幼児の人体ダミーを用いた同様の実験、および生身の人間による視覚的な墜落可能性の判定実験である。この3つの実験の結果、ダミーを用いた実験と視角による判定実験の結果にはほとんど不整合はなく、これを踏まえて、柵状部位の高さ、厚み、およびヒトの年齢別の墜落判定曲線を提示した。

キーワード：柵状部位、墜落事故、人体ダミー

Summary

In this study we intend to grasp the effect by height and thickness of guard-fence on prevention of accidental fall through three experiments; experiment of accidental fall using human dummy of adult body, the similar experiment using child dummy, and experiment of visual judgment on possibility of fall. As the result, we recognized that the difference is very little between the result of experiment using dummy and that of visual judgment, then we proposed the graph to judge the possibility of accidental fall.

Keywords : guard-fence, accidental fall, dummy of human body

1. 研究目的

高所からの墜落事故防止のために設けられる手すり等の柵状部位については、建築基準法で110cm以上の高さにすべきことが定められている¹⁾が、この高さは、人体寸法値に照らしても妥当なものとしてされている。しかし、柵状部位の厚みについては、当然ある程度の墜落事故防止効果はもつのではないかと考えられるにもかかわらず、その効果については、これまで、必ずしも定量的には明らかにされていなかった。そこで本研究では、様々な高さを持つ柵状部位の断面形状について、墜落事故を再現する実験を行い、事故防止設計上の参考資料を得ることを目的とした。

ところで、このような知見が、インテリア設計の参考になるものであるかということについては、建築基準法上は厚みの効果によって高さを減じることは認められていないことを考えれば、むしろ、インテリア空間内にある基準法で規制されない柵状部位の設計においてこそ意味を持つ知見になるものと考えている。

本研究では、この研究目的を達成するため、以下、実験1, 2, 3と称する3つの実験を行った。

実験1は、日本人成人男子の寸法・質量バランスを模した人体ダミーを用いた実験、実験2は、同じく三歳児および六歳児の日本人男子幼児を模した人体ダミーを用いた実験である。このふたつの実験により、いわば物理的な墜落防止効果を明らかにすることができるものと考えた。実験3は、生身の人間の視覚的判断を聞く実験で、いわば心理的な墜落防止効果を明らかにしようとするものである。ここから得られた知見は、実験1・2の知見を補う知見にな

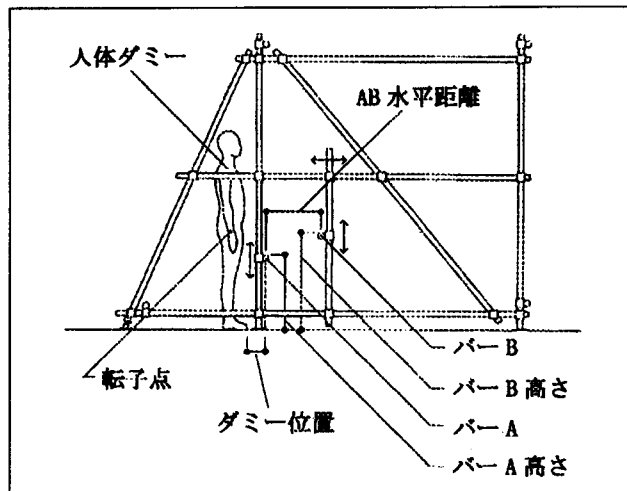


図-1 実験装置

表-1 実験項目一覧

ダミー条件	人体ダミー位置		バーA高さ	バーB高さ	バーAB水平距離
	バーAのみ の場合	バーAB使用 の場合			
① 腰回転	0cm~90cm 5cm間隔	0cm~60cm 10cm間隔	30cm~95cm 5cm間隔	30cm~90cm 5cm間隔	0cm, 10cm ~80cm 5cm間隔
② 腰固定	0cm~90cm 5cm間隔	0cm~60cm 10cm間隔	30cm~90cm 5cm間隔	30cm~75cm 5cm間隔	0cm, 10cm ~80cm 5cm間隔
備 考	・ダミー位置は、バーA(ダミーに近い側のバー)の芯からダミーを直立させたときのつま先までの水平距離。		・バーA高さ及びバーB高さは床面からバー上端までの垂直距離。 ・バーB高さ-バーA高さ \geq 30cmとした。		・AB水平距離はバーAの芯からバーBの芯までの水平距離。

表-2 判定区分

判 定	ダミーの 状 態
落ちる	頭が床に当たる。
落ちそう	足が床から離れ、体がバーに乗り、頭は床に当たらない。
落ちない	足は床にあり、頭が床に当たらない。

* 東京理科大学助手・工修 ** 同大学教授・工博

るものとする。

なお、本論文は、過去に日本建築学会で発表した3編の学術講演梗概^{2) 3) 4)}をもとに、今回改めて再構成したものである。

2. 成人の人体ダミーを用いた実験

2-1. 実験方法

1) 実験装置

柵状部位断面の様々な形態は、2本の水平なバーそれぞれの高さや相互の水平距離を変えることによって代表させることができると考え、工事足場用鋼管を用い、図-1のような装置を組み立てた。バーA(ダミー側のバー)は上下方向、バーBは上下及び水平方向に移動できるような機構とした。なお、2本のバーの間隙については、実際の柵状部位では笠木等で覆われていることが多いが、下記の方法をとる本実験では、人体がこの隙間に落ちることはないと考え、特にはふさがないこととした。

2) 実験に用いた人体ダミー

動的実験用人体ダミー(伊藤精機製3DGM-JM50-67型)を用いた。このダミーの各部の寸法及び重量は日本人成人男子の平均値でつくられている。

3) 実験項目

表-1に実験項目を示す。人体ダミーの条件としては、墜落事故の際の人体の動きに大きな影響を及ぼす可能性を持つ条件として、腰部(転子点:図-1)が①自由に回転する場合と②回転しない場合との2通りを取り上げた。なお、他の人体結節点については、ほぼ動かないように固定した。一方、人体ダミー位置については、最も落ちやすい位置が含まれるように、また2本のバーの寸法範囲については、現実的に考えられる柵状部位の寸法が含まれるように、それぞれ考慮の上、範囲を設定した。

4) 実験の具体的方法

人体ダミーを、バーA側に前向きに直立させた状態から静かに手を離し、自然に倒した。なお、既に行った実験項目から論理的に結果が予測できる場合は実験を省略した。

5) 落ちる・落ちないの判定

表-2に判定の区分を示す。

2-2. 実験結果

1) 実験結果のとりまとめ

実験の結果、ダミーの条件としては、①の方が②よりも人体の動きに近く、かつ落ちやすいと判断されたので、以下①についてまとめた。また、判定区分の「落ちそう」は安全側の判断として「落ちる」に含めた。図-2は、このようにして求められた「落ちる」「落ちない」の境界線をグラフ上に表示したものである。

2) 設計資料とするための補正

この実験結果は、平均的な体格の人体に対するものであるため、そのままでは設計用の資料としては使えない。そこで、以下の手順により補正を加えた。

まず、日本人の人体寸法の分布を考慮し、安全側の値に補正した。補正の方法は、この種の数値設定に際してとられている従来の考え方に従い、99.9パーセント(平

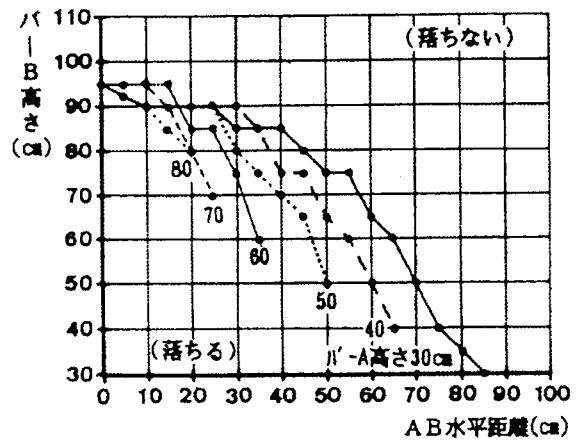


図-2 実験結果表示のグラフの一例

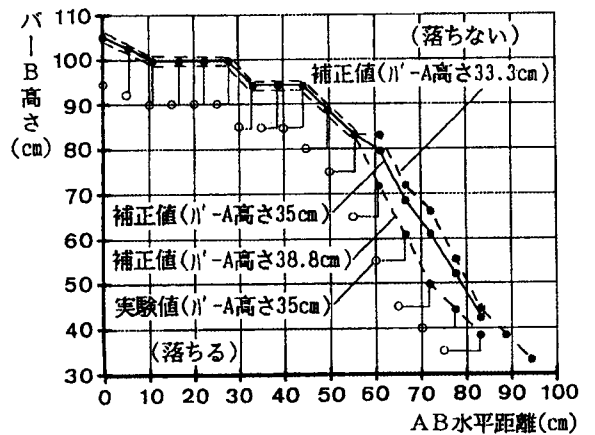


図-3 人体寸法のばらつきを考慮した補正

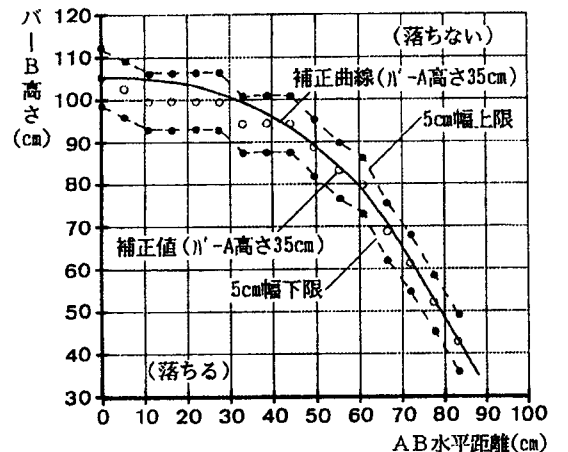


図-4 なめらかな曲線への補正

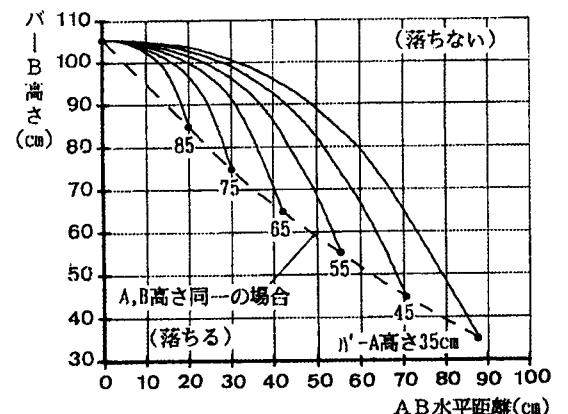


図-5 補正した墜落防止機能曲線(日本人成人男子)

均 + 3 × 標準偏差) の人体寸法の値になるよう、高さ方向・水平方向とを比例的に拡大した。この時、グラフ内の数値(バーA高さ)はきれいな数値でなくなってしまうが、これに対しては、2本の折れ線の間を比例按分することにより、きれいな数値に直した。(図-3)

次に、設計資料としての見やすさを考慮し、折れ線をなめらかな曲線に直した。具体的には、この実験の精度を考慮して、前記補正值の上下に5cm程度の幅をとり、その範囲内に入るようになめらかな曲線を引いた。この場合、同様に引かれる複数の曲線の相互関係も考慮した。(図-4)

以上の手順で得られた曲線をまとめて表示したものが図-5である。点線はバーA、B高さが同一の断面形態の場合、即ち笠木が水平で厚みのある柵状部位の場合を示したものである。

2-3. 考察

建築基準法による柵状部位の高さ(110cm以上)と今回の実験結果を比べると、単なる高さについては、ほぼ整合しているといえる。一方、厚み方向の効果については、図-5を見ると、笠木がほぼ水平な柵状部位の場合、高さが70cm付近以上は、高さのみの効果をほぼ「高さ+幅」で代用できることがわかる。

3. 幼児の人体ダミーを用いた実験

3-1. 実験方法

1) 実験装置

実験1と同様、図-1の装置を用いた。

2) 実験に用いた人体ダミー

3歳児人体ダミー(伊藤精機製3DGM-AM3Y)と6歳児人体ダミー(同3DGM-AM6Y)を用いた。これらダミーの各部の寸法及び重量は、米国人3歳児、6歳児男子の50パーセント値に合わせて作られている。

3) 実験項目

表-3に実験項目を示す。人体ダミー位置については、最も落ちやすい位置が含まれるように、また、2本のバーの寸法範囲については、現実的に考えられる柵状部位の寸法が含まれるように、それぞれ考慮の上その範囲を設定した。

4) 実験の具体的方法

人体ダミーを、バーA、B側に前向きに直立させた状態から静かに手を離し、自然に倒した。また、ここでも論理的に結果が予測できる場合は実験を省略した。

5) 落ちる・落ちないの判定

実験1同様、表-2の区分を用いた。

表-3 実験項目一覧

ダミー種類	寸法範囲		人体ダミー位置		
	バーAのみ	バーAB使用の場合	バーA高さ	バーB高さ	バーAB水平距離
3歳児	0cm~80cm 5cm間隔	0cm~80cm 10cm間隔	5cm~45cm 5cm間隔	0cm~50cm 5cm間隔	0cm~80cm 5cm間隔
6歳児	0cm~90cm 5cm間隔	0cm~90cm 10cm間隔	5cm~55cm 5cm間隔	5cm~80cm 5cm間隔	0cm~80cm 5cm間隔
備考	・ダミー位置は、バーA(ダミーに近い側のバー)の芯からダミーを直立させたときのつま先までの水平距離。		・バーA高さ及びバーB高さは床面からバー上端までの壁面距離。 ・バーB高さ≧バーA高さとした。		・AB水平距離はバーAの芯からバーBの芯までの水平距離。

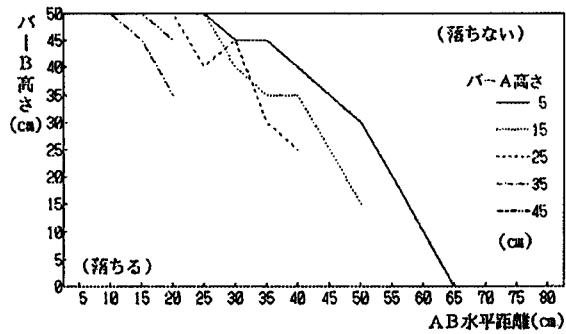


図-6 実験結果表示グラフの一例

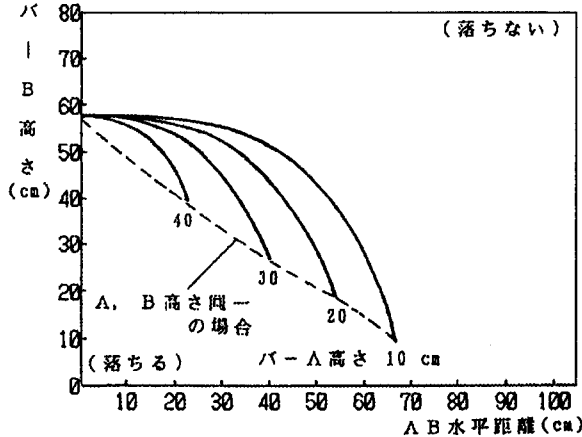


図-7 補正した墜落防止機能(日本人3歳児)

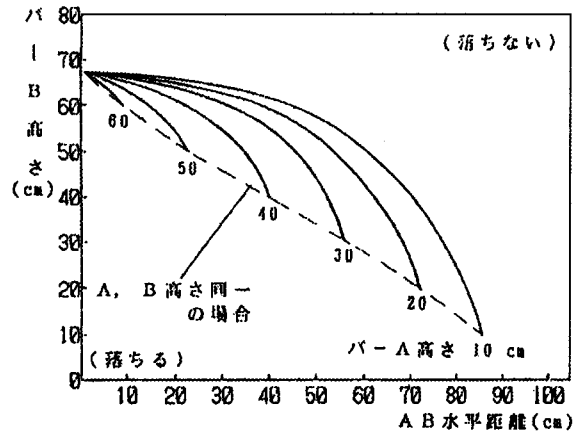


図-8 補正した墜落防止機能(日本人6歳児)

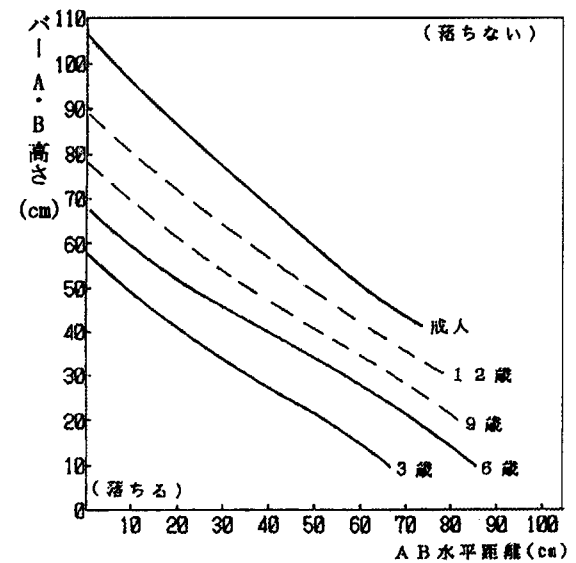


図-9 A・B高さ同一の場合(笠木が水平の場合)の柵状部位の年齢別墜落防止機能

2-2. 実験結果

1) 実験結果のとりまとめ

「落ちそう」は、安全側の判断として「落ちる」側に含めた上で、「落ちる」「落ちない」の境界線をグラフ上に表示したものの一例を図-6に示す。

2) 設計資料とするための補正

実験結果を設計資料として使えるようにするため、人体寸法の分布を考慮し、安全側に補正した。補正の方法は、実験1と同様、日本人の3歳児、6歳児の99.9パーセントイル（平均+3×標準偏差）の人体寸法になるように、比例的に補正した。この補正により、得られた曲線をまとめて表示したものが図-7, 8である。点線はバーA, B高さが同一の断面形状の場合を表したものである。

3) 成人に関する実験結果との合成

成人人体ダミーを用いた実験結果と合成し、今回の結果との間を比例的に補間することにより、すべての年齢層に適用できる設計資料を図-9のごとく作成した。なお、この図は、A, B高さが同一の場合のみを示してある。従って、このグラフは、笠木が水平な手すり、出窓、厚みのある浴槽の縁などに適用することができ、年齢別に墜落の有無を判定することができる。

2-3. 考察

図-9をみると、A, B高さが同一の場合、厚みの効果は高さの効果にかなり近い効果を持つことがわかる。しかし、この結果を受けとめるに際しては、生身の人間とはや

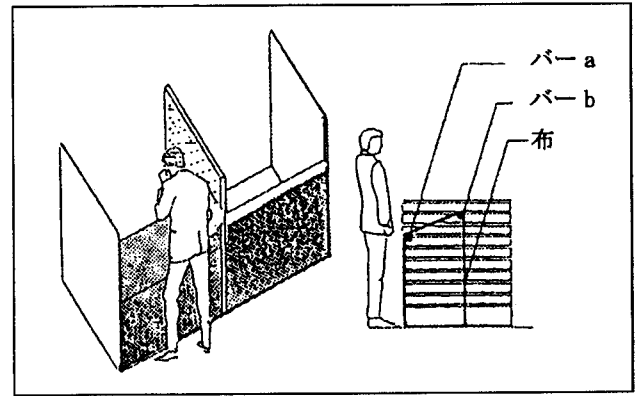


図-10 実験装置

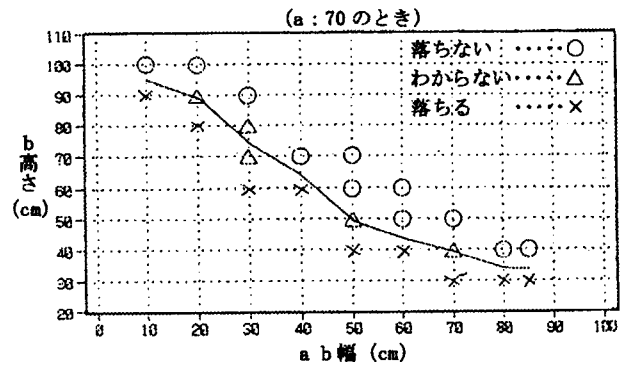


図-11 実験結果の記録例

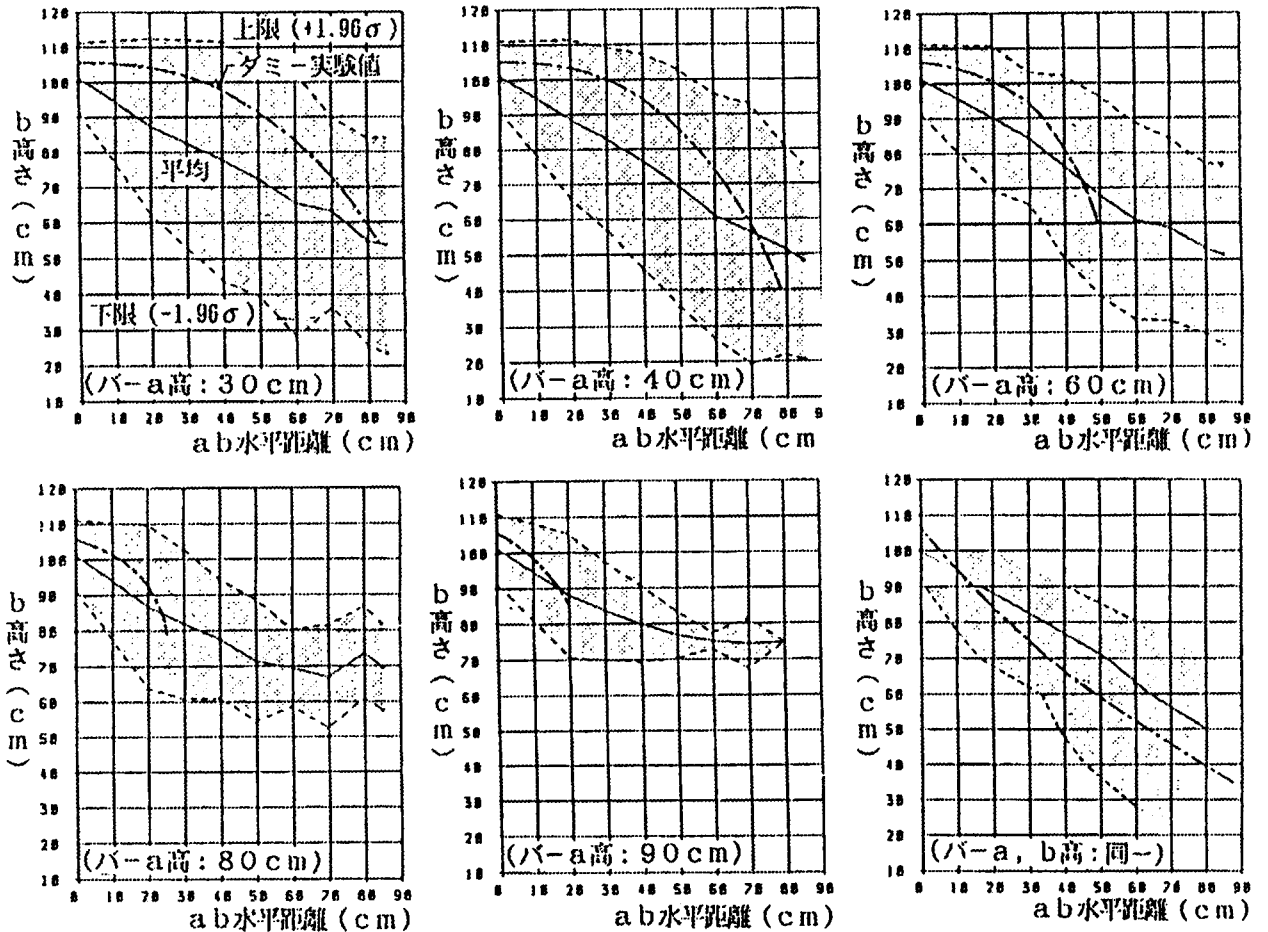


図-12 視覚的判断実験とダミー実験との比較

や異なるダミーによる実験であること、特に墜落回避の行動を考えていないこと、またこの実験における装置や人体ダミーの倒し方などを考えると、その精度はそう高いものとはいえないことなどを考慮する必要があり、設計上はあくまでもひとつの目安として扱うべきものとする。

4. ヒトの視覚的判断に関する実験

4-1. 実験方法

1) 実験装置

柵状部位断面の様々な形態は、2本の水平なバーをそれぞれの高さと相互の水平距離を変え、全体を布で覆うことによって視覚的判断の対象にできると考え、図-10のような装置を組み立てた。バーaは上下方向、バーbは上下及び水平方向に一定のピッチで移動ができ、柵状部位の断面形態を様々に変えることができる。また、装置の一方には比較判断を可能とするための高さのみ可変のバーを設けた。

2) 被験者

大学生22人(男性17人、女性5人)を被験者とした。被験者の平均身長は166.3cm、標準偏差7.9cmであり、これは日本人成人の代表として特に偏ったものではないと判断できる。

3) 実験の具体的方法

被験者を柵状部位の前面に立たせ、倒れかかった時に墜落回避の行動を特にはとらなかつたとして、墜落するか否かを視覚により判断させた。このとき、判断が実験を通して同等になるよう、高さのみ可変のバー使用の場合をまず判断させて、それと随時比較しながら、2本バーでの墜落の可能性を判断させた。なお、被験者にはあらかじめ布で覆われた部分は、強固な手すりの笠木部分である旨を十分教示した。

4) 記録の方法

記録は図-11に例示する方法で行った。なお、「落ちる」「落ちない」の境界は、その判断のちょうど中央の高さをとることとした。

4-2. 実験結果

一本のバーにおける墜落の可能性を被験者に判断してもらった結果は、大部分の被験者が本人の重心に近い高さを境目として判断した。これは、ダミー実験の結果ともほぼ一致する判断であり、これと比較しながら下した2本バーの場合の判断もほぼその人なりのまともな判断であったと考えられる。そこで、この結果を用い、それぞれの被験者の身長が日本人成人男子の99.9パーセントイルであったときの値に比例的に補正した。図-12は、この平均と95%が含まれる幅を表示し、かつ、成人ダミー実験の結果も書き込んだものである。

4-3. 考察

図-12から、人の判断はかなり大きな幅を持ち、ダミー実験の結果は全てこの幅の中に含まれることがわかる。人の判断の平均を見ると、ab幅のかなりな範囲にわたって、ダミー実験の結果より落ちにくい側に(楽観的に)判断する傾向が見られるが、ab幅が大きくなると、この関係は逆転する。この傾向は、バーa高さが低いほど顕著に見られる。ただし、a、b高さが同一の場合は、人の判断の方が(前述の逆転したところを合成したものであるため)、やや落ちやすい側に(悲観的に)判断する人がかなりの割合でいるという結果となっている。実際の適用場面ではこのような場合の方が多いのではないかと考えられる。

5. 総括

以上3つの実験を統括すると、以下のようにまとめられる。

- ① 成人ダミー実験および幼児ダミー実験の結果から、高さや厚みを変数とする柵状部位の基本的な墜落防止機能が定量化された。
- ② 視覚的判断実験の結果をダミーの実験の結果と照合すると、双方の精度の範囲では、特に不整合はないといえる。
- ③ 現実に設計される柵状部位の断面形状は、笠木が水平であることが多いと考えられるので、その墜落防止機能を判断する際の参考資料として図-9が使える。

6. 謝辞

本研究は筆者らの研究室における3年度にわたる研究をとりまとめたものであり、当時卒研生あるいは大学院生等であった多くの諸君の努力のたまものといえる。以下にその名を記して謝辞にかえる。天神良久君、落合修君、妹尾繁孝君、中島潤一君、小林裕治君、青木修二君、石川裕一君、長谷川智和君、東流昌宏君、佐々木一夫君、以上。

【注】

- 1) 建築基準法施行令126条1項
- 2) 直井英雄、天神良久、落合修：手摺断面の形態とその墜落防止効果との関係に関する実験研究 その1-人体ダミーを用いた墜落防止の物理的効果に関する実験-、日本建築学会大会学術講演梗概集、1989年10月
- 3) 小林裕治、天神良久、直井英雄：手摺断面の形態とその墜落防止効果との関係に関する実験研究、その2-ヒトを被験者とした墜落防止の視覚的効果に関する実験-、日本建築学会大会学術講演梗概集、1989年10月
- 4) 長谷川智和、天神良久、直井英雄：柵状部位の断面形状と幼児の墜落防止効果との関係に関する実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、1990年10月

(2003年10月31日原稿受理、2004年2月17日採用決定)