日本建築学会計画系論文集　第490号，155-162，1996年12月
J. Archit. Plann. Environ. Eng., AIJ, No. 490, 155-162, Dec., 1996

CADによる日本伝統建築の軒反り曲線設計法

THE EAVES CAMBER DESIGN METHOD OF JAPANESE TRADITIONAL ARCHITECTURE BY CAD

麓　和善*，鈴木光雄**，河田克博*，内藤　昌***
Kazuyoshi FUMOTO, Mitsuo SUZUKI, Katsuhiro KAWATA and Akira NAITO

Design about the eaves is a very important factor to construct exterior on Japanese traditional architecture. In the Edo and Meiji era, many Japanese architectural books were written. But eaves camber design method was not written until "Banshouke Kayaoisori Mitugousinri" which was written by Tousai Kiko in 1864. After that, 12 books were written. We universalize these methods by functional equations, and attempt to make practicable by CAD. We examine the rate of application for architectural monuments by computer analyzing, and propose "Formula of Eaves Camber for CAD" as best formula.

***Keywords**: Japanese traditional architecture, Eaves camber, Kikujutu, CAD, "Formula of Eaves Camber for CAD"*
日本伝統建築，軒反り曲線，規矩術，ＣＡＤ，「ＣＡＤ軒反り式」

1.　はじめに

わが国の伝統建築において、軒反りやそれに合わせて垂木・隅木等が整然と納まる軒裏の意匠は、日本建築の外観構成上極めて重要な要素である。古来より、これを正確に納める技術を「規矩術」と称し、優れた工匠の感性と技術の粋が凝らされてきた。そして近世になると、多くの建築書が成立するなかで、「規矩雛形」も『番匠秘事　曲尺追加』〔児玉重矩著、享保８年(1723)、国会図書館所蔵〕を嚆矢として、明治時代までに80本以上におよんで著された。この「規矩雛形」の記述内容を総覧すると、軒廻り構成部材の仕事墨の付け方から平行垂木における隅軒の納まりや扇垂木の割り付けに関するもので、特に文政期(1825年頃)から嘉永期(1850年頃)にかけて、優れた和算家でもあった幕府作事方大棟梁平内家第10代廷臣によって、『匠家矩術要解』〔天保４年(1833)国会図書館所蔵他〕等が著され、数学的にも完成された。この間、軒反り曲線そのものの設計法に関する記述は全くなく、古代以来つねに工匠の感性によるものとされていた。ところが中世以来の京大工の名門を継ぎ、和算にも精通していた木子棟齋は、元治元年(1864)に『番匠家　茅負反り密合真理』を著し、一応理論的完成をみた規矩術の最終段階として、幾何学的作図法による軒反り(茅負等)曲線の設計法を提案した。以後、これに触発されて、明治期に７本、昭和期に４本、以上12本の史料に、幾何学的作図法あるいは関数曲線による、軒反り曲線の設計法が記された[1)]。

規矩雛形に関する従来の研究としては、多くの文化財建造物の保存修理工事を手掛け、近世規矩術の選定保存技術保持者に認定されていた上田虎介氏による一連の研究[2)]や、狩野勝重博士[3)]、伊藤平左衛門博士[4)]の研究等があるが、いずれも代表的規矩術書の解釈を中心としており、対象史料に記載のない軒反り曲線設計法については問題にされていない。また、軒反り曲線に関するものとしては、大岡実博士の遺構における茅負曲線の心反り

*　名古屋工業大学社会開発工学科　助教授・工博　Assoc. Prof. Dept. of Architecture, Urban & Civil Engineering, Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.
**　㈱東海設計(元名古屋工業大学大学院)　工修　Tokai Architects Co., Ltd., M. Eng.
***　愛知産業大学建築学科　教授・工博　Prof., Dept. of Architecture, Aichi Sangyo Univ., Dr. Eng.

技法に関する考察[5]等があるが、やはり軒反り曲線そのものの設計法までは論究されていない。

本研究では、まず上記史料に記載された軒反り曲線の設計法を紹介し、幾何学的作図法については、連続的に曲線を変化させ得る関数式に置き換えた改良案を示したうえで、ＣＡＤを用いて各案の軒反り曲線を描出し、これと遺構の軒反り曲線との適用度(近似度)をコンピュター解析によって検討することによって、歴史的汎用性を意識した最良案として提案する。

2. 軒反り曲線設計法記載史料とその内容

12史料の装丁・成立年・著者・版元等を示し、各史料に記載された軒反り曲線設計法の内容を述べる。

2.1 『番匠家　茅負反リ密合真理』（滑川市立博物館岩城家文書蔵）

和装筆写本で、巻頭に「番匠家／茅負反リ密合真理／嘉永元(1848)戊申歳秋発明／側円以為之／元治元(1864)甲子年二月真理捷徑ヲ／発明随円容是通左ニ」(／印改行、以下同)と記したうえで、軒反り設計法を図解している〔図１〕。そして、「木子藤原棟齊」の署名が記され、その後に破風曲線設計法が付加されている。

ここに記された手法は、反り元の「円心線（垂直線）」上に中心をもつ円弧を描き、その円弧を陸水（水平）方向に、１：２：３：・・・：ｎと等差数列の比となる間隔で、円心線と平行に、反り元から隅木口脇までの枝数と同数に分割する（この場合16枝）。そして、この間隔がすべて１枝寸法と等しくなるように水平方向に引き伸ばしてできる曲線を、軒反り曲線とするわけである。曲線は、茅負下端・同上端・布裏甲上端・木口裏甲上端が描かれており、たとえば茅負下端に用いる円弧の半径は１丈３尺７寸７分１厘４２８５７余と記されている〔図１〕。以下これを「木子案」と称する。

2.2 『軒廻規矩之図　全』（滑川市立博物館岩城家文書蔵）

和装筆写本で、表紙題箋に「軒廻規矩之図 全」、巻首題に「規矩　渾沌舎」とある。また巻首に「松田信義之図按」の署名、巻末に岩城庄之丈の角印がある。松田信義と岩城庄之丈は、明治期の東本願寺再建に携わっており、この時期すなわち明治17年頃に、岩城庄之丈が他の史料とともに伝写あるいは伝承したものと考えられる[6]。原本の成立年代は、木子棟齊によって『番匠家　茅負反リ密合真理』が著された後であろうが、あるいは江戸時代末期まで遡る可能性もある。

本書に記された手法は、木子案において円弧を等差数列の比で立水に分割するところを、等間隔に分割している〔図２〕。その他は木子案と同様の考え方で、円弧の半径は茅負下端を１丈５尺６寸円というように実寸法で記している。以下、これを「松田案」と称する。

2.3 『建築伝法　早割大工雛形　全』(国会図書館所蔵他)

和装木版本で、刊記によると、明治11年(1878)12月、京都府平民秋瀧友吉が著し、大阪府平民矢野吉兵衛によって出版されている。

本書に記された手法は、松田案と同じであるが、円弧の半径を実寸法ではなく、反り長さ、すなわち反り元から隅木口脇までの水平距離の１／２としている。

2.4 『匠工必携　全』(国会図書館所蔵他)

和装銅版本で、刊記によると、明治19年(1886)6月15日に版権免許を 受け、京都府平民柴田四子吉が著し、同柴田吉次郎・山内正次郎によって出版されている。

本書に記された手法は、まず反り元の立水（垂直線）上に中心をもち、半径を反り高さとする円を描き、この円と反り先端を通る陸水との交点から、陸水と６寸勾配の直線を引いて弦とし、反り元から弦に垂線を引き、この点から円と反り先端を通る陸水との交点までを等分割して、各点から弦に直角に線を引いて弧のうえに投影する。そして円弧上の各点間の水平距離を等間隔として、所定の反り長さまで、陸水方向に引き伸ばしてできる曲線を、軒反り曲線とするわけである〔図３〕。以下、これを「柴田案」と称する。

2.5 『巧道助術新録初編　下之巻』(東京大学所蔵他)

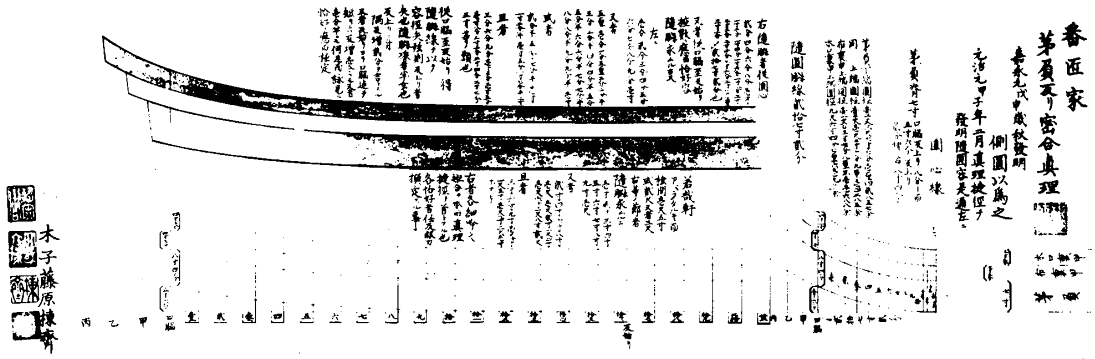
和装木版本で、刊記によると、明治23(1890)年10月、京都府平民木子棟斎が著し、同寺田栄助によって印刷されている。初編３冊、弐編４冊、三編３冊の全10冊構成のうちの１冊である。ただし 引続き四編を上梓中で、また五編は未完成のまま木子棟齊は没する[7]。

本書は、棟齊が青年期に記した筆写本の『容合好捷徑因率』〔嘉永５年(1852)〕・『唐博風造因率』〔嘉永５年(1852)〕・『切妻博風因率』〔嘉永７年(1854)〕・『番匠家　茅負反リ密合真理』〔元治元年(1864)〕等を集大成したものである。

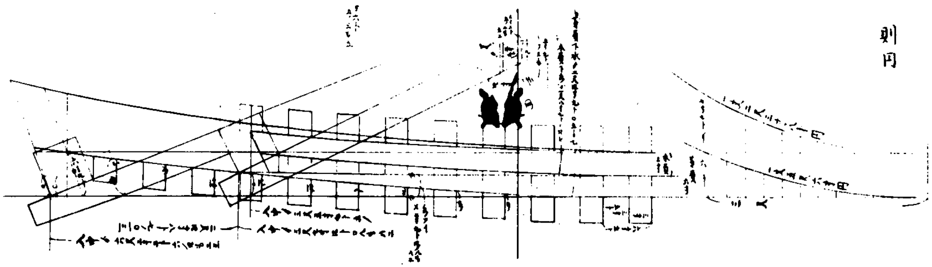
軒反り設計法としては、上記のとおり『番匠家　茅負反リ密合真理』や、同じく「木子案」で円弧の半径や分割数を変えたものが記されている。さらにこの方法を木子が実際に用いた例として、明治期再建の東本願寺鐘楼および阿弥陀堂の軒反りに関する記載がある。

2.6 「日本建築術に於ける曲線の性質を論す」〔『建築雑誌』 第95号　所収〕

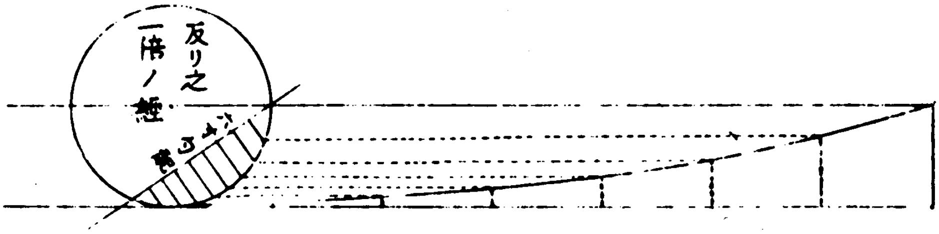
明治27年、伊東忠太が大学院学生の時に、『建築雑誌



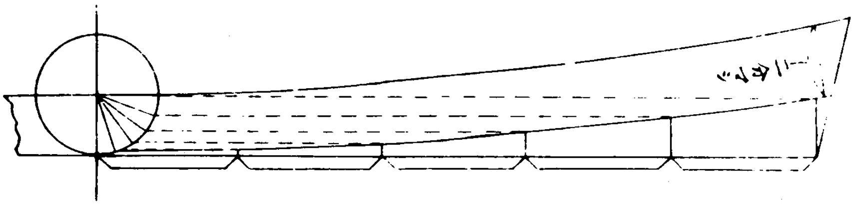
〔図1〕木子案



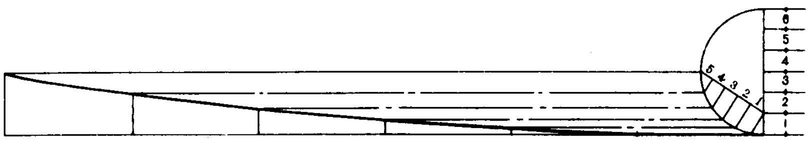
〔図2〕松田案



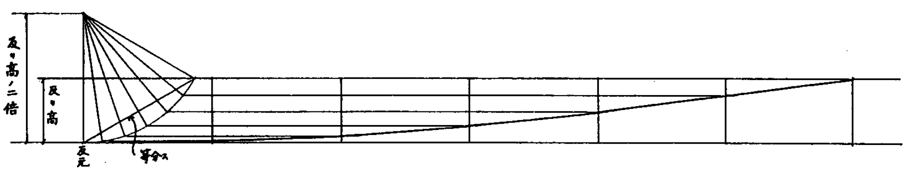
〔図3〕柴田案



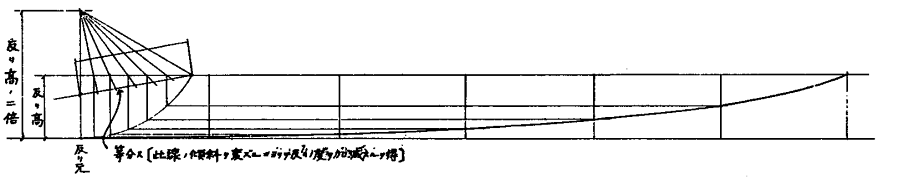
〔図4〕斎藤案



〔図5〕山本案



〔図6〕角南Ｉ案



〔図7〕角南II案

』第93・95・96・104号に連載発表したもので、なかでも第95号は、日本建築に用いられる曲線を関数によって表現しようと試みたものである。

軒反り曲線については、中央部で必ずしも水平である必要はない、すなわち中央で微妙な折れのある古代の総反りを想定したうえで、関数の候補に、①カテナリー(懸垂線)、②エリプス(楕円)、③ロガリスミック・カーブ(指数関数曲線)をあげ、最終的に指数関数$y=a^x$を提案している。以下、これを「伊東案」と称する。

2.7 『日本建築規矩術』(国会図書館所蔵他)

洋装本で、明治38年(1905)9月、東京高等工業学校教員斎藤兵次郎によって著され、信友堂書店から発売されている。上(説明)・下(図)の2冊からなる[8]。

軒反り曲線設計法は、次の2案が掲載されている。

①柴田案で、弦の勾配を30度とするもの。

②反り元の立水上に中心をもつ円を描き、円弧の中心角が等しくなるように、すなわち弧の長さを等間隔に分割する。あとは他の案と同様に、所定の反り長さまで陸水方向に引き伸ばして軒反り曲線とする〔図4〕。以下、これを「斎藤案」と称する。

2.8 『日本建築辞彙』

改めるまでもなく本書は、洋装本で、明治39年(1906)6月、中村達太郎によって著され、丸善から出版された建築辞典で、その「軒」の項に、軒反り曲線に関する記述がある。

楕円の一部を用いることを提案し、指数nをパラメーターとする次の数式を提示している。以下、これを「中村案」と称する。

$$r=\frac{n^2(n+1)^2+f^2}{2f} \quad \cdots\cdots \quad (1)$$

$$R=\frac{cr}{\sqrt{f(2r-f)}} \quad \cdots\cdots \quad (2)$$

(r:短半径, R:長半径, f:反り高さ, c:反り長さ)

cをn等分したとき、m番目の反り高さは、

$$r\left(1-\frac{\sqrt{n^2R^2-(mc)^2}}{nR}\right) \quad \cdots\cdots \quad (3)$$

2.9 『日本建築図譜』(国会図書館所蔵他)

洋装本で、幕府大棟梁建仁寺流第12代大島盈株の遺作を、昭和4年12月、渡辺虎一・田辺泰・山本一次の共編により、遺作図刊行会から発行したものである。

軒反り曲線設計法は、次の6案が図示されている。

①斎藤案で円弧の半径を反り高さの2倍とするもの。

②斎藤案で円弧の半径を反り高さと等しくするもの。

③松田案で円弧の半径を反り高さと等しくするもの。

④松田案で円弧の半径を反り高さの2倍とするもの。

⑤柴田案で円弧の半径を反り高さと等しくするもの。

⑥木子案で円弧の半径は大きく特に半径の整数倍とは意識していないもの。

そして、①と②の斎藤案は不可であると付記しているが、後掲の「壹ト軒茅負反リ形」では④の松田案を、「出隅貳軒　繁棰軒廻リ図　その貳」では①の斎藤案を用いた図を掲載している。

2.10 『規矩術』(国会図書館所蔵他)

洋装本で、昭和9年2月、山本一次が著し、大倉書店から発行されている。

軒反り曲線設計法は、次の7案が掲載されている。

①斎藤案で円弧の半径を反り高さの2倍とするもの。

②斎藤案で円弧の半径を反り高さと等しくするもの。

③松田案で円弧の半径を反り高さの2倍とするもの。

④松田案で円弧の半径を反り高さと等しくするもの。

⑤反り元の立水上に中心をもつ円(ここでは半径が反り高さと等しい)を描き、その直径を立水上でn(ここでは6)等分する。つぎに反り先端を通る陸水と円弧の交点から、立水上で等分した点の下からひとつ目の点まで直線で結び、この間を(n−1)等分し、各点からこの直線と直角に線を引いて円弧上に各点を投影する。あとは他の案と同様に、所定の反り長さまで陸水方向に引き伸ばして軒反り曲線とする〔図5〕。以下、これを「山本案」と称する。

⑥柴田案で円弧の半径を反り高さと等しくするもの。

⑦木子案で円弧の半径を反り高さの4倍とするもの。

2.11 「社寺建築」(『高等建築学 8』所収)

昭和9年4月、神社庁関係で多くの優れた作品を設計した角南隆が著し、常磐書房から発行されている。

軒反り曲線設計法は、図を示すのみであるが、江戸時代の手法として、次の4案が掲載されている。

①反り元の立水上に中心をもち、半径を反り高さの2倍とする円弧を描き、この円弧と反り先端を通る陸水との交点から反り元を結ぶ弦上で等分割し、その各点と円の中心を結んだ直線によって円弧を分割する。後は他の案と同様に、所定の反り長さまで、陸水方向に引き伸ばして軒反り曲線とする〔図6〕。以下、これを「角南I案」と称する。

②柴田案で円弧の半径を反り高さと等しくするもの。

③松田案で円弧の半径を反り高さと等しくするもの。

④反り元の立水上に中心をもち、半径を反り高さの2倍とする円弧を描き、この円弧と反り先端を通る陸水との交点から任意の勾配の直線を引き、反り元立水との交点までを等分割する。この各点と円弧の中心を結ぶ直線を引き、これと反り先端を通る陸水との各交点から立水を引き円弧を分割する。後は他の

案と同様に、所定の反り長さまで、陸水方向に引き伸ばして軒反り曲線とする。そして、任意の勾配の直線について、「此線ノ傾斜ヲ変ズルニヨリテ反リノ度ヲ加減スルヲ得」と付記している〔図7〕。以下、これを「角南II案」と称する。

ただし、角南自身は、本文中において「本来自由なるべき軒の反りをこんな機械的方法で簡単に求めやうとする事は、而も単に2次の曲線のみにしようとする事は、曲線の味に無理がある」と記し、批判的である。

2.12 『実際応用規矩術』(国会図書館所蔵他)

洋装本で、昭和9年10月、小林政吉によって著され、須原屋書店から発行されている。

軒反り曲線設計法は、次の2案が掲載されている。

①松田案で円弧の半径を反り高さの2倍～4倍とするもの。

②木子案で円弧の半径を反り高さの4倍とするもの。(反り高さ6寸と8寸の2例)

それぞれ軒出・反り高さ・分割数等を具体的に示し、各点の計算式が記されている。

以上、12史料に記載された軒反り曲線設計法をまとめると、〔表1〕のとおり、幾何学的作図法によるもの7案、関数曲線の一部を用いるもの2案、計9案となる。

〔表1〕史料別軒反り曲線設計法記載一覧

	史料名	幾何							関数	
		木子案	松田案	柴田案	斎藤案	山本案	角南I案	角南II案	伊東案	中村案
1	『番匠家　茅負反り密合真理』	●								
2	『軒廻規矩之図　全』		●							
3	『建築伝法　早割大工雛形　全』		●							
4	『匠工必携　全』			●						
5	『巧道助術新録初編　下之巻』	●								
6	「日本建築術に於ける曲線の性質を論す」								●	
7	『日本建築規矩術』			●	●					
8	『日本建築辞彙』									●
9	『日本建築図譜』	●	●	●	●					
10	『規矩術』		●		●	●				
11	「社寺建築」		●	●			●	●		
12	『実際応用規矩術』	●	●							

3. 関数式普遍化による改良案

上記軒反り曲線設計法のうち、「木子案」・「松田案」では、円弧の半径が実寸で記され、分割数も反り元から反り先端までの枝数とし、さらに『巧道助術新録初編　下之巻』に東本願寺鐘楼・阿弥陀堂の例が記されているが、そのほかは説明の便宜上、円弧の半径が反り高さと等倍もしくは2倍、分割数5～6程度となっており、具体的な設計にあたって、これらの最適値が示されているわけではない。優れた社寺建築の設計者である角南隆が、このような幾何学的作図法に無理があると評しているように、どの程度の実用性あるいは汎用性があるかは疑問である。

そこで、これらの案に普遍性をもたせるために、関数式に置き換えた改良案を、ここで提案したい。関数式にすることによって、CADによる作図が可能になり、パラメーターを変化させることによって自由自在に曲線を変化させる、すなわち普遍化することができるわけである。

反り元を原点、陸水方向をX軸、立水方向をY軸、反り元から反り先端までの水平距離をL、反り高さをh、円弧の半径を反り高さの倍数で $r=kh$、分割数をnとすると、各案はそれぞれ〔表2－改良式〕のとおりとなる。

「木子案改良式」・「山本案改良式」のパラメーターは、n(分割数)とk(円弧の半径／反り高さ)となる。

「松田案改良式」・「柴田案改良式」・「斎藤案改良式」・「角南I案改良式」のパラメーターは、k(円弧の半径／反り高さ)のみとなり、分割数nは曲線の性質には関係しない。

「角南II案改良式」のパラメーターは、k(円弧の半径／反り高さ)と θ(等分割線の勾配)となる。

指数関数曲線を用いる「伊東案」は、$y=a^x$ とY軸との交点が反り先端、$(-L,\ a^{-L})$ が反り元となっているので、これを他の案と同様に、反り元を原点とする座標軸に置き換え、反り高さをhとする式に変換する。「伊東案改良式」のパラメーターは、底aとなる。

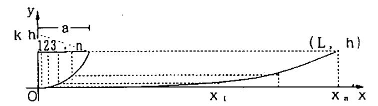
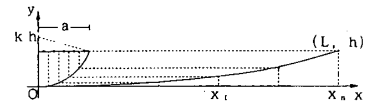
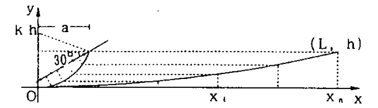
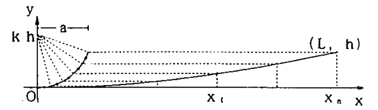
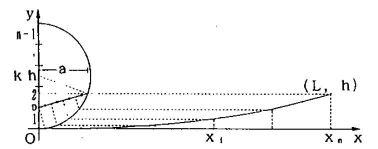
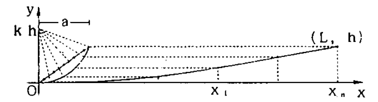
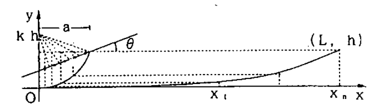
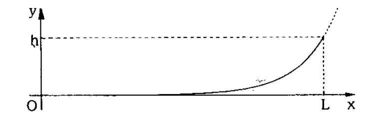
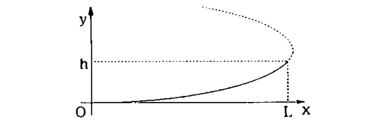
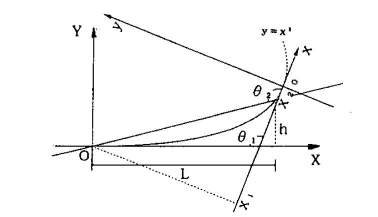
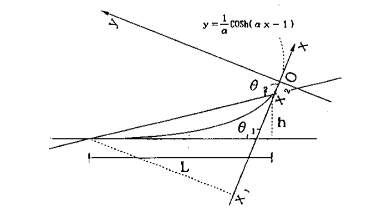
「中村案」は、パラメータを枝数とし、枝数によって小半径を決めているが、枝数によって軒反り曲線が単一に決定されるのでは一般性がなくなるので、他の案と同様に小半径rをパラメータとする式に変える。

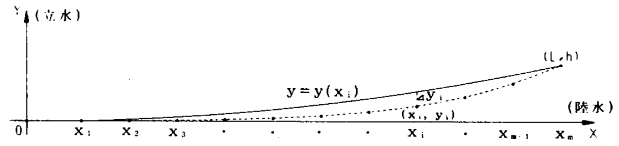
ここで、以上の既往案の改良式に加えて、古くより「糸垂み」と称して実際に用いられた「懸垂線」や、これと類似の曲線である「放物線」も提案しておきたい。ただし、これらはいずれも曲線の接線がX軸、接点が原点になるように、座標の平行移動と回転のための変換を行なう。パラメーターは、曲線の接線と変換前のX軸との角度 θ_1 となる。

4. 遺構への適用

関数式普遍化された上記設計法により、CADを用いて曲線を描出し、コンピュータ解析によって、遺構の軒反り曲線への適用度(近似度)を検討し、各式の特性を考察したうえで、最良の軒反り式を選定する。

〔表2〕軒反り曲線設計法一覧

図解		改良式	変数
木子案		$y=kh-h\sqrt{k^2-\frac{(2k-1)(nx+L)^2x^2}{L^4(n+1)^2}}$ $(0\leqq x\leqq L)$	k・n
松田案		$y=kh-h\sqrt{k^2-\frac{2k-1}{L^2}x^2}$ $(0\leqq x\leqq L)$	k
柴田案		$y=\frac{1}{4L}\{\alpha x+3Lkh-\sqrt{(\alpha x+3Lkh)^2-4\alpha^2x^2}\}$ $\alpha=h(1+\sqrt{6k-3})$ $(0\leqq x\leqq L)$	k
斎藤案		$y=kh\{1-\cos(\frac{\theta}{L}x)\}$ $\theta=\cos^{-1}\frac{k-1}{k}$ $(0\leqq x\leqq L)$	k
山本案		$y=\frac{1}{\cot^2\theta+1}\{\alpha+r\cot^2\theta-\sqrt{(\alpha+r\cot^2\theta)^2-\alpha^2(1+\cot^2\theta)}\}$ $\tan\theta\ \frac{h-\frac{r}{n}}{a}$, $\alpha=h\{(1+\frac{2k-1}{\tan\theta}-\frac{2k}{n})\frac{nx-L}{L(n-1)}+\frac{2k}{n}\}$ $(\frac{L}{n}\leqq x\leqq L)$	k・n
角南I案		$y=kh-\frac{kh(kL-x)}{\sqrt{(x-kL)^2+(2k-1)x^2}}$ $(0\leqq x\leqq L)$	k
角南II案		$y=kh-h\sqrt{k^2-\frac{(2k-1)(1-k)^2x^2}{\{2k-1(x-L)\tan\theta+L(1-k)\}^2}}$ $(0\leqq x\leqq L)$	k, θ
伊東案		$y=\frac{a^{(x-L)}-a^{-L}}{1-a^{-L}}h$ $(0\leqq x\leqq L)$	a
中村案		$y=r(1-\frac{\sqrt{R^2-x^2}}{R})$ $r=\frac{n^2(n+1)^2+h^2}{2h}$, $R=\frac{Lr}{\sqrt{h(2r-h)}}$ $(0\leqq x\leqq L)$	r
放物線		$Y=\frac{\alpha-\sqrt{\alpha^2-\beta}}{2a\sin\theta_1}$ $\begin{cases}\alpha=-\cot\theta_1-(2x_1-2X\cos\theta_1)a\\ \beta=4a(aX^2\cos^2\theta_1+X\sin\theta_1-2aXx_1\cos\theta_1)\\ \tan\theta_2=\frac{\tan\theta_1+k}{1-\tan\theta_1\cdot k}\end{cases}$ $\begin{cases}a=\frac{\tan\theta_2-\tan\theta_1}{S\cos\theta_2}\\ x_1=\frac{\tan\theta_1}{2a}\end{cases}$ $(0\leqq X\leqq L)$	θ_1
懸垂線		$\begin{cases}y=\frac{1}{\alpha}\{\cosh(\alpha x)-1\} & ①\\ \frac{dy}{dx}=\sinh x=\frac{e^{\alpha x}-e^{-\alpha x}}{2}=\tan\theta_1 & ②\end{cases}$ $\begin{cases}\sqrt{h^2+L^2}\cos(180°-\theta_2)=\frac{1}{\alpha}(x_2-x_1) & ④\\ y=\tan\theta_2x+y_1-\tan\theta_2x_1 & ③\end{cases}$ ①②③④の解を $(180°-\theta_1)$ 回転　$(x_1\leqq x\leqq x_2)$	θ_1



〔図８〕軒反り式による遺構曲線への近似モデル

4.1 分析の方法

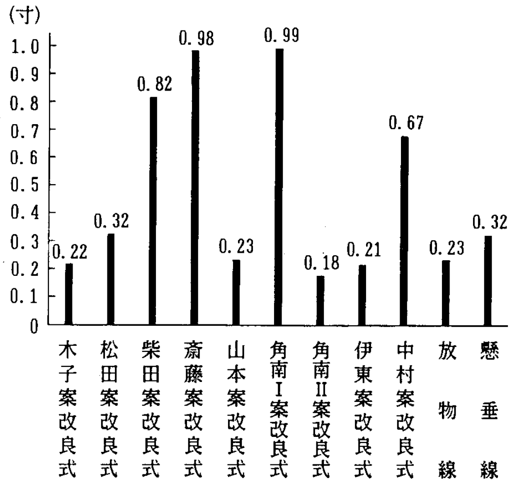
遺構の軒反り曲線のデータとしては、重要文化財建造物の解体修理時に作成された規矩図(文化庁保管)が最も正確であると考えられるので、このうち社寺建築のものを悉皆的に、多層建築を含め総数130棟、延べ174図収集した。そして、本研究ではこれらの規矩図に記された茅負下外角の曲線を軒反り曲線として用いる。

反り元(始点)と隅木口脇(終点)を通ることを条件に、遺構とＣＡＤを用いた各設計法の曲線が最も近似するパラメーターの値を、コンピュータによる最小２乗法により求める。つまり、規矩図に記された曲線上のm個の点を、反り元を原点とする座標(x_i, y_i)で表し、上記各手法の式を$y = y(x)$とするとき、各点での実測値と各手法の計算値との誤差$\Delta y_i = y_i - y(x_i)$の２乗和$f = \Sigma(\Delta y_i)^2$が、最小となるようにパラメーターの値を求める〔図８〕。この時、ｆを実測点の数ｍで割った値の２乗根が標準誤差(Ｓ)で、１実測点あたりの誤差を表す($S = \sqrt{f} / m$)。

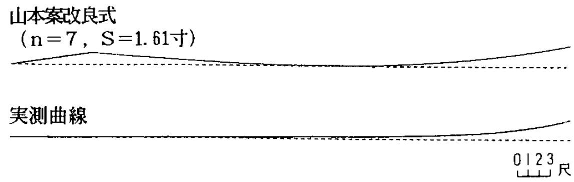
なお、「木子案改良式」・「角南Ⅱ案改良式」・「山本案改良式」では、パラメーターが２種あったが、これらは反り高さと半径の比(ｋ)を固定し、他のパラメーターのみとしても、描出される曲線の種類に影響はない。そこで、原典の記述にしたがって「木子案改良式」はｋ＝２、「山本案改良式」はｋ＝１とする。一方、「角南Ⅱ案改良式」では、原典記述のｋ＝２では撓みの小さい曲線が描けないので、汎用性を考慮して便宜上ｋ＝10とした。

4.2 軒反り式の特性

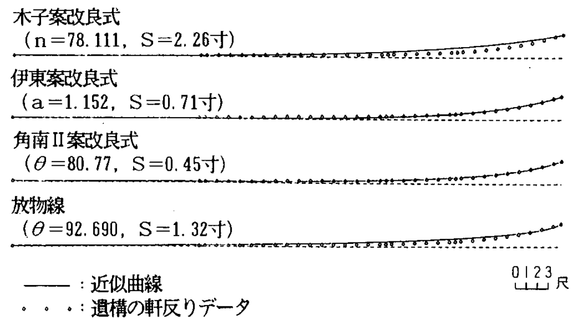
上記方法にしたがって各軒反り式と全遺構データーの最小２乗近似を試みた。そして、各軒反り式における174件の標準誤差(Ｓ)の平均($\bar{S}$)を比較すると、〔図９〕のとおりとなった。「松田案改良式」($\bar{S}$＝0.32寸)、「柴田案改良式」($\bar{S}$＝0.82寸)、「斎藤案改良式」($\bar{S}$＝0.98寸)、「角南Ⅰ案改良式」($\bar{S}$＝0.99寸)、「中村案改良式」($\bar{S}$＝0.67寸)、「懸垂線」($\bar{S}$＝0.32寸)は、いずれも$\bar{S}$が大きく、これらの式は、遺構の軒反り曲線に対する適用性がない。また、「山本案改良式」($\bar{S}$＝0.23寸)は、Ｌの長い曲線、つまりたとえば東福寺三門下重のような軒反り曲線においては反り元付近で折れが生じる〔図10〕。一方、「木子案改良式」($\bar{S}$＝0.22寸)、「伊東



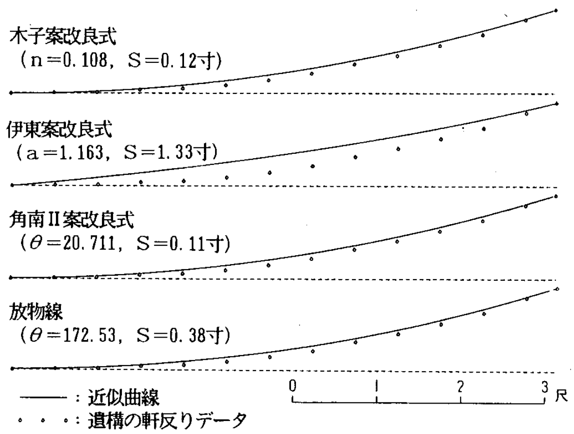
〔図９〕標準誤差平均($\bar{S}$)比較 $\bar{S} = \sum_{i=1}^{n} \frac{S_i}{n}$ (n=174)



〔図10〕山本案改良式による遺構への近似曲線(東福寺三門下重)



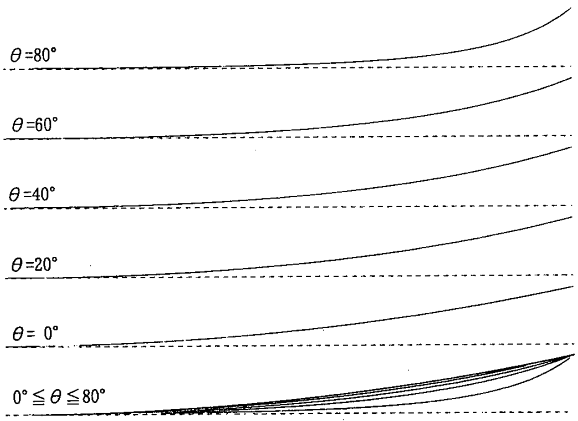
〔図11〕木子案改良式・伊東案改良式・角南Ⅱ案改良式・放物線による遺構への近似曲線比較 (東福寺三門下重)



〔図12〕木子案改良式・伊東案改良式・角南Ⅱ案改良式・放物線による遺構への近似曲線比較 (崇福寺三門下重)

案改良式」($\bar{S}$＝0.21寸)、「角南Ⅱ案改良式」($\bar{S}$＝0.18寸)、「放物線」($\bar{S}$＝0.23寸)は、いずれも全体的には$\bar{S}$が小さく遺構の曲線を良く描出しているといえる。

そこで、つぎにこの４式のみをとりあげ、近似曲線を詳細に比較する。まず、反り高さが小さいのに比して撓みの大きい曲線、たとえば東福寺三門下重〔図11〕のような曲線では、「木子案改良式」はＳ＝2.26寸、「放物線」もＳ＝1.32寸と誤差が大きい。また、反り高さに比して撓みの少ない曲線、たとえば崇福寺三門下重〔図12〕のような曲線では、「伊東案改良式」はＳ＝1.33寸と誤差が大きい。これに対して「角南Ⅱ案改良式」は、〔図13〕のとおりさまざまな曲線の描出が可能であり、$\bar{S}$＝0.18寸と全軒反り式中最小で、かつS_{max}＝0.94寸と最大標準誤差も小さい。以上より、「角南Ⅱ案改良式」が、あらゆる時代・様式の軒反り曲線を描出することが可能な、最も汎用性の高い設計式であることが確認された。



〔図13〕角南Ⅱ案改良式による曲線
(k＝10とし、θのみ変化)

5. 結

江戸時代末、和算に精通した名門大工棟梁木子棟齋によって、規矩術の最終的発展段階として、初めて幾何学的な軒反曲線の設計法が発明された。それ以後考案された幾何学的設計法の大半がその発想を基本にしている。一方、これらとは別に、西洋数学の導入による関数曲線の一部を用いる設計法も、帝国大学において西洋建築学のエリート教育を受け、日本近代建築学の先駆者となる伊東忠太と中村達太郎によって考案された。しかしながら、以後今日にいたるまで、これ以上の発達あるいは近代化が試みられることはなく、近世建築書によってうかがえるわが国の古典建築学の衰退と運命をともにした。本研究では、すでに忘れさられ過去の手法となってしまった感さえあるこれらの軒反り曲線設計法を、関数式普遍化することによって、ＣＡＤによる実用化を試みた。そして、コンピューター解析によって、文化財遺構へ適用度を比較検討した結果、「角南Ⅱ案改良式」が、あらゆる時代・様式の軒反り曲線を描出することができる最良式であることを明らかにした。この汎用性は、幾何学的作図法に否定的見解を有していた角南の時代には想像すべくもなく、まさにコンピューターの発達した今日にいたって確認できるものである。そういった意味から、ここであえて本式を「ＣＡＤ軒反り式」と命名したい。そして、伝統的技術が急速に失われつつある今日、文化財建造物の修復工事において伝統的技術の保存がはかられているのは高く評価できるが、一方では伝統的技術の現代的変換あるいは活用も必要で、その一方法として、ＣＡＤによる軒反り設計法を提案する。

注

1) 本稿で取り扱う史料は、なんらかの新しい見解を示したもののみとし、既往史料の完全な引用にとどまっているものは省略している。
2) 上田虎介：『小林源蔵著 独稽古 隅矩雛形 全三冊 解説・付図』、私家版、昭和50年11月。同：『極秘六角雛形 1折 解説』、私家版、昭和51年11月。同：『西村権右衛門著 大工雛形 秘伝書図解 上の巻 解説』、私家版、昭和52年９月。同：『日本建築規矩術(近世規矩)(選定保存技術の記録)』、私家版、昭和57年５月。
3) 狩野勝重：『江戸科学古典叢書16 隅矩雛形／矩術新書』、恒和出版、昭和53年10月。同：『江戸科学古典叢書35 大匠手鑑／秘伝書図解／大工規矩尺集』、恒和出版、昭和57年２月。
4) 伊藤平左衛門：『匠家矩術要解 校訂・解題』、私家版、昭和58年11月。
5) 大岡実：「茅負の技法に関する二、三の問題」『日本建築の意匠と技法』、中央公論美術出版、昭和46年10月、p126～p142。
6) 松田信義および岩城庄之丈は、東本願寺明治度造営関係記録の『両堂新始式次第書 明治十三年庚辰十月』・『御影堂御柱立式御手帳 明治十七年四月廿六日』にその名が記されており、造営に関与していたことが確認できる。(「明治度造営関係資料(編年記録)」『東本願寺』、財団法人真宗大谷派本廟維持財団発行、昭和53年５月、p302～304、参照)
7) 「故木子棟齋翁小伝」(『建築雑誌』第77号、明治27年)参照。
8) 『日本建築規矩術』の全内容を完全に引用した史料として、池田仲次郎：『速成熟達 大矩術(つほかね)』、大正10年３月、国会図書館所蔵他がある。

(1996年１月10日原稿受理，1996年７月24日採用決定)