

講座

アンボンドスラブ

その1 概要編

1 はじめに

アンボンドスラブ、正確には『アンボンド PC 鋼材を用いたプレストレストコンクリートまたはプレストレスト鉄筋コンクリートスラブ』は、低成長下のプレストレストコンクリート（以下、PC）技術分野の中では、数少ない、近い将来の大発展が期待できる応用分野と言える。現在、日本全体で1年間に施工される、6000万 m^2 とも見積られる鉄筋コンクリートスラブ（建築物）のうち、アンボンドスラブの占める比率は、せいぜい1%程度と考えられるが、今後、この構造の設計上・施工上のメリットが各界に浸透するにつれ、この比率は大幅に向上し、いずれ、10%程度までには達するのではないかと筆者は予想（期待？）している。

本講座では、こういった状況を踏まえ、

『アンボンドスラブには興味があるが、

どんな場合に使えばメリットがあるか？

簡単に設計する方法は？ その手順は？

施工時に注意すべきことがあるか？』

というような関心・疑問をお持ちの方々を対象に、まず本号でこの構造の特徴と適用法を述べ、続いて次号で平易な実用設計法を紹介する予定である。

なお、ここでは、アンボンドスラブを建築物に適用した場合について話を進めているが、数々の特徴や設計の考え方そのものは、土木構造物に適用した場合も全く同じであるから、手法についての伝統的な違いなどを念頭に置きさえすれば、土木系の方にも参考にして頂けるのではないかと考えている。

2

アンボンドスラブの原理

各論に入る前に、アンボンドスラブの、構造体としての原理をおさらいしておこう。

PCの基本は、言うまでもなく、荷重によって引張応力の発生する断面位置に、あらかじめ圧縮応力を与えておくことにある。そのため、対象とする部材に PC 鋼材（以下、テンドン）を通し、緊張してコンクリートの両端部に軸方向の圧縮力を与える。

簡単のためプレキャストの桁を取り上げるが、図—1において、テンドンが桁の断面重心に直線配置されておればプレストレスは断面に一樣分布である（a—1, a—2）。

テンドンが直線であっても、桁の重心を外れておれば（つまり偏心配置）、プレストレスは断面内で勾配を持つ（b—1～3）。

更に、テンドンを曲線配置（c—1）すると、その端部での位置で決まる上記 a または b のプレストレス分布に加えて、テンドンの曲線部分が直接コンクリートを押す（正確には円弧の中心に向かう力だが、桁軸に直交と近似できる）ことによる曲げ応力が発生する。この場合 PC の断面算定は、一般に、図中に示したように、その断面内にあるテンドン位置にプレストレス力が作用しているものとして行えばよい。これは、直交方向荷重によるその位置の曲げモーメントを計算し、端部での偏心軸力による応力と合算した場合と、全く同じ結果になるからである。

今、建物内のスラブ（場所打ちコンクリート）の状態を考えると、それを支える梁や柱あるいは壁が随所に存在し、上に述べたプレキャストの場合と違って、テンドン緊張力の反力たるコンクリートの軸方向圧縮力は、それらスラブ以外の部材に相当量が流れ、緊張端から離れるに従って、スラブへの導入力が少なくなっていく。

剛な梁で囲まれたスラブの場合、緊張端から 3～4 ス

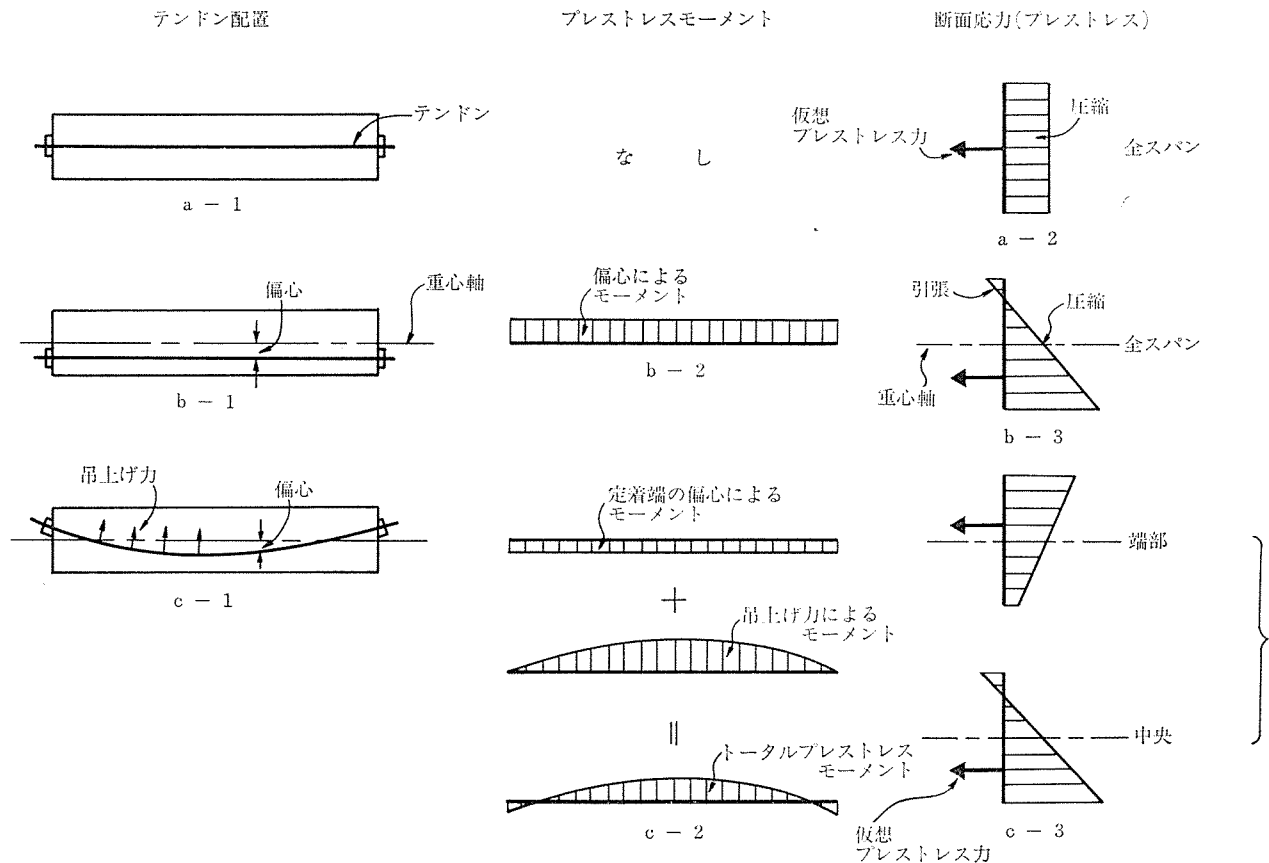


図-1 テンドン配置とプレストレス分布

パンで、この軸方向プレストレス力はほぼ消えてしまう。この軸方向プレストレス力の消失の状態は、建物の立体的な剛性によって決まるものなので、簡単には計算できない。ということは、先に述べた『テンドン位置に軸力が作用する』とみなす断面算定法はこの場合適用できない。そのため、断面に作用するプレストレスは『その断面に到達する偏心軸力』と『テンドン自身による直交方向荷重に基づく曲げモーメント』の和という形で評価しなければならない。直交方向荷重をもたらすテンドン自身の引張力としては、スラブの実際の状態によって決まる摩擦損失だけを考慮した値をとる（これについては、次号設計法であらためて触れる）。

こう書くと複雑のようだが、実際は至極簡単である。テンドン自身による直交方向荷重とは、要するにスラブを上へ持ち上げる力であって、重力による荷重を打ち消す働きをする。もし、この上向きの力（吊上げ力ともいう）を設計荷重と等しくなるように定めれば、見かけ上、設計荷重はゼロとなり、コンクリートにも鉄筋にも応力は全く生じないことになる（ただし軸方向力を除く）。

これが、軸力を考慮しない状態でのフルプレストレスであるが、普通は、スラブの場合、いわゆる PRC 構造として、設計荷重の一部だけをこの吊上げ力によってキ

ャンセルする。アンボンドスラブの構造力学的な基本は、この曲線配置されたテンドンによる吊上げ力で、有害なひびわれ・大たわみのない健全な床機能を得るのに必要なだけ、荷重を打ち消す、ということにある。

なお、この原理は、ボンド・アンボンドの別を問わない。ボンド方式であっても、プレストレス導入時はアンボンド状態であり、コンクリートとテンドンの間の力のやりとりは両者全く同じだからである。

3

どんな種類があるか

建築物の『床』を性格づける因子（あるいは設計上の条件）は、

用途上から：荷重の大きさと性質、使用上の要求
骨組の形態から：スパン、支持部材の形状と剛性、

表-1 アンボンドスラブの種類

スラブの種類	床の用途例	骨組の種類	スパン (m)	テンドン
連続スラブ	集合住宅、事務室	ラーメン、壁式	5~8	1方向
孔あきスラブ	事務室、集会室、体育室、工場	ラーメン、トラス	8~12	1
リブスラブ	同上	同上	8~12	1, 2
ビッグスラブ	事務室、倉庫	ラーメン	8~12	2
フラットスラブ	事務室、倉庫、店舗	フラットスラブ	7~9	2

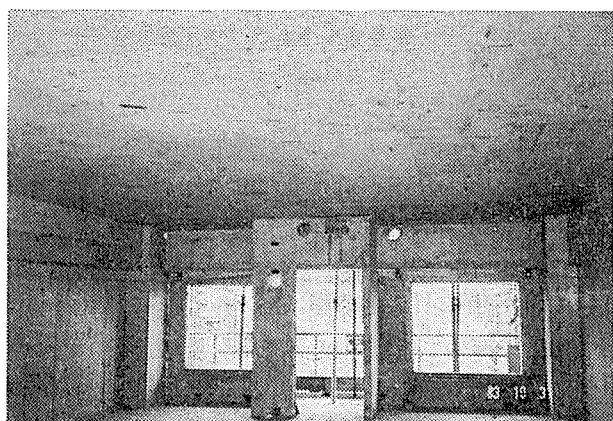


写真-1 集合住宅の連続スラブ

スラブの連続状態、荷重を伝達する主方向（特に、テンダンの配置方向）

などである。

これら因子を、既に実施例のある各種アンボンドスラブについて整理すると、表-1 になる。

（１）連続スラブ

一方向（短辺方向となることが多い）にスラブが多パン連続するもので、集合住宅によく見られる。

1 住戸につき 2 室を南面させると桁行スパンは 6.5 m 前後となり、そのまま鉄筋コンクリート（RC）で一枚スラブにすれば、少々スラブ厚を大きくしても、ひびわれと大たわみの障害が起こりやすい。

そこで従来は、1 住戸の中に、小梁をいずれかの方向に入れて、スラブの短スパンを 4 m 程度に押さえていた。この小梁は、室内の天井に露出するか、あるいは間仕切り上部に収まっているが、模様替えの邪魔になる、といった不都合なものであった。

アンボンドスラブは、この小梁を追放するとともに、ひびわれや大たわみへの懸念をほぼ完全に吹き飛ばしてしまったのである。

連続するスラブの延長は、いくらあってもよいが、ア

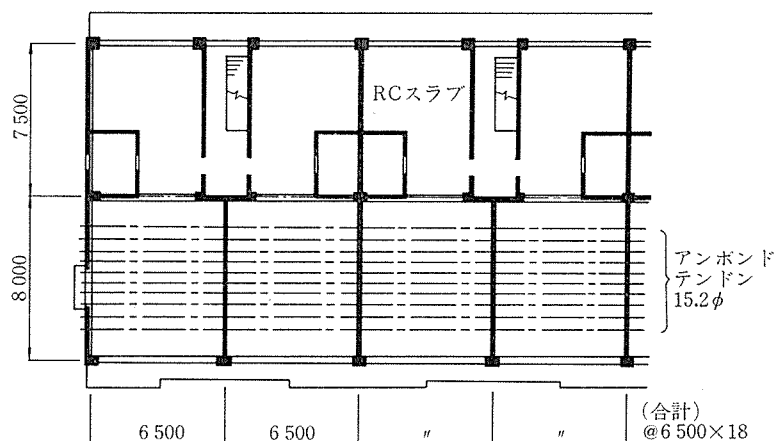


図-2 アンボンド連続スラブの例

ンボンドテンダンの一端から緊張しうる長さに限界があるので、施工計画で、一回の緊張長さを念頭に入れる必要がある。この長さの限界は、緊張時の摩擦損失で決まるものなので、その計算が必要（計算法：次号参照）だが、通常、摩擦損失量を導入力（20% 程度）に押さえると、60 m 前後が、片引きの限界長さとなる。

図-2 に、集合住宅スラブへのアンボンドテンダン配置例を示す。この場合、コア壁によって小さくなった、各住戸の北側部分スラブは RC としている。

（２）孔あきスラブ、リブスラブ

用途によって、（１）よりも少し大きいスパンが必要になったとき、よく用いられるスラブ構法である。

RC でも実施例は多いが、孔あきスラブではコアとコアの間、リブスラブではリブ部分にアンボンドテンダンを配置すれば、曲線テンダンのスパン端部（上）と中央（下）における高低差（ライズという）が大きくとれ、前述した吊上げ力が大きくなるので、スラブとしての性能を高めるうえで極めて有効である。

（３）ビッグスラブ（大スパン・ソリッドスラブ）

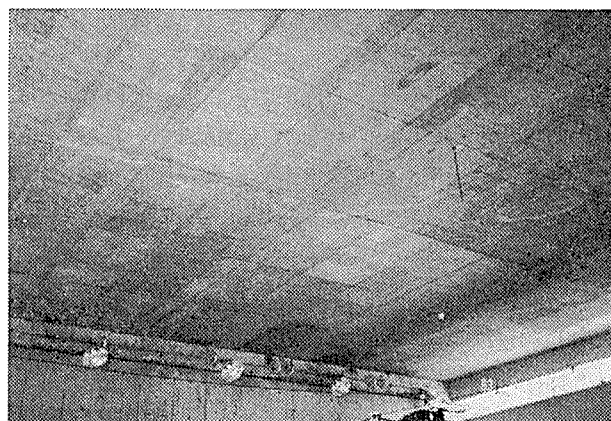


写真-2 ビッグスラブ

孔あきスラブなどとほぼ同じ程度のスパンに対し、ソリッドスラブ（孔も凹凸もない）を適用することは、スラブ自重が嵩むので、構造設計上不利とされやすい。しかし、基礎や耐震設計上の問題がなければ、コンクリート量は増えても、型枠工事費が孔あきスラブ・リブスラブより著しく安く上り、かつ、見かけのスラブ厚が薄くなって階高も節約できるので、トータルで有利となることがある。

もちろん、この場合、ひびわれや大たわみの問題が厳しいので、プレストレス導入は必須条件である。

プレストレストコンクリート構造物は、構造力学的洗練度が高く、でき上

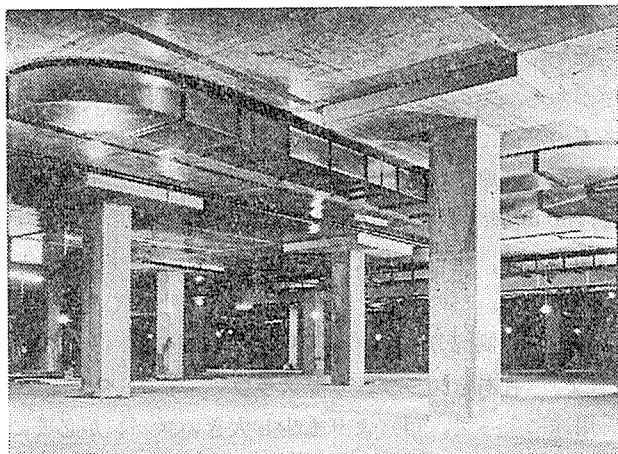


写真-3 フラットスラブ

った姿が軽快であればあるほど、その形をコンクリートに与えるための型枠や配筋作業が複雑となり、泥臭い労力を多く必要とする、というジレンマがあるが、この『ビッグスラブ』（著者の勝手な命名であるが便宜上使わせていただく）は、力学的には鈍重とはいふものの、生産方式としては、リブスラブなどより遥かにスマートなのである。

（4）フラットスラブ

昔からよく知られておりながら、ごく一部の倉庫や地下鉄ぐらいにしか用いられなかった構法であるが、アンボンド工法の適用で息を吹き返し、大規模ショッピングセンターを始めとして、ここ数年、大いに注目を浴びるようになった。

これは、従来の RC フラットスラブ（無梁版構造と言った）が普及しなかった要因、すなわち、

- ・柱頭部の型枠が複雑（円錐形キャピタルの存在）
- ・スパンがあまり大きくできない（6 m 程度まで）
- ・構造計算が面倒

といった諸点が、アンボンドプレストレスの導入を始めとする近年の技術の進歩で、著しく緩和されたためである。前述したテンドンの吊上げ効果で、柱頭部のせん断力・曲げモーメントが低減され、スパンは大きくとれ、キャピタルも要らなくなって、大型型枠の採用などの合理化が可能となった。また、コンピュータの普及で、精密かつ経済的な設計が容易になったことも忘れてはならない。これらのほか、階高の節約効果なども加わって、特にローコスト建築としての特長が評価されている。

4

スラブの性能

ひびわれや大たわみの心配がないこと、邪魔な小梁がないこと、施工上のメリットが大きいこと（後述）、などの利点は理解できたとしても、その他の、スラブとし

て必要な性能はどうであろうか。

（1）振動性状

アンボンドスラブは、表-1 にも示したように、RC スラブに比べてスパンが大きい。当然、振動についての心配が出る。いくつかの実測結果によっても、固有周期が長くなる傾向ははっきり出ている。たとえば、あるオフィスのスパン 8.0×10.0 m の連続スラブの場合、固有振動数は約 12 Hz、減衰率は約 5% であった。また、別のオフィスで、 12×17 m スパンのビッグスラブを測ったところ、固有振動数が約 10 Hz、減衰率は 2% に留まった。これらアンボンドスラブは、やわらかく、弾力的な性質を持つように見えるが、実際には人体感覚としてはほとんど問題にならない範囲であった（一人歩行時で『ようやく感じる』程度）。それは、スパンが大きいと同時に、スラブ厚も大きく、スラブ 1 枚としてのコンクリートのマス効果が顕著に作用するためである。

（2）遮音性能

集合住宅で特に問題となる上階のドタバタ、すなわち『重量床衝撃音』についての一調査結果を、図-3 に示す。アンボンド連続スラブは短辺有効スパンが 5.9 m、厚さ 18 cm、比較のため併記した RC スラブは有効スパンが 2.6×6.1 m、厚さ 15 cm である。等級でいうと、共に L-55 に相当し、ほぼ『並』の遮音性ということになる。しかし、図でわかるように、周波数 125 Hz 以上の範囲では、アンボンドスラブが RC スラブよりかなり伝達音レベルが低い。このため、人体感覚としては、アンボンドスラブの方が、騒音をよりマイルドと受けとめられる。これも、振動性状と同じく、スラブコンクリートのマス効果と考えられる。

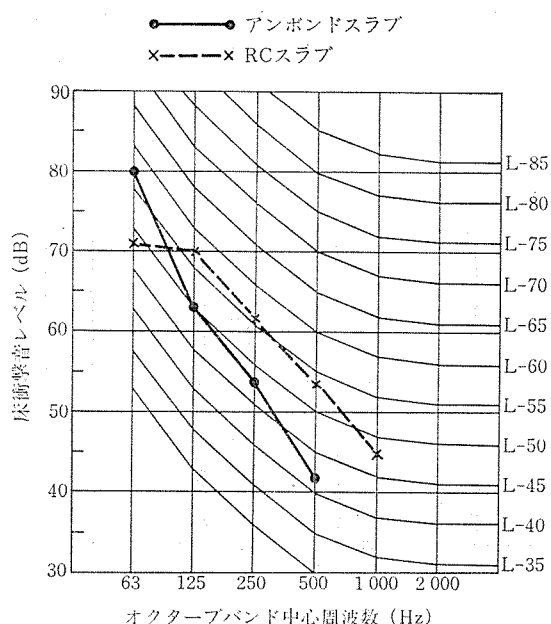


図-3 「重量床衝撃音」試験の例

(3) 耐火性能

アンボンドテンドンのプラスチックシースや防錆剤は有機物であるから燃える。このことからアンボンドスラブの耐火性能を心配する声を聞くことがあるが、コンクリートに埋まった状態のテンドンでは事情は全く違う。テストによれば、シースやグリースは、その発火点を超える高温の下で『燃える』のではなくそのまま『炭化』してしまう。そして何よりも、まず、部材の中でのテendonは、そのような高温に曝されることがない。なぜなら、テendonは、スラブのような薄い部材の場合でも、少なくとも鉄筋の内側に配置され、コンクリートのかぶりとして 4cm 程度は確保されるからである。数多くの耐火試験によって、この厚さのかぶりは 2 時間耐火を保証しており、結局、スラブでは、アンボンドテンドンではなく、鉄筋によって耐火性が決まるのである。

(4) 耐久性

塩害などの多発で、コンクリート部材の耐久性がしばしば論議される。テendon自身は高張力で、腐食に敏感であり、またアンボンドスラブは通常 PRC 構造として設計されるから（つまり、ひびわれの存在が前提）、よけい心配される。しかし、ここでも、アンボンド方式の優位性が主張できる。プラスチックシースは極めて化学的に安定した物質なので、コンクリートの中で変質せず、いつまでも水や空気の侵入を防ぐ。コンクリートに仮にひびわれが発生しても、それがよほどの幅に広がらない限り破れない。水が入ればすぐ錆び始める薄鋼板シースと脆いセメントグラウトより、プラスチックシースとグリースの組合せの方が、鋼材のバリアとしての信頼性は低いとは考えられない。しかも、品質管理の点で問題になりやすい現場でのグラウトに比べ、しかるべき工場でのアンボンド加工に、信頼性の軍配は上げざるを得ない

のである。

5

施工性と経済性

スラブとしての性能のよさはわかっても、コストが高むのでは採用しにくい。一般に PC 構造とすれば、高品質の代りに高コストとなる。アンボンドスラブでも、使用した材料だけで比較すると、RC よりたいていの場合高くつく。高価なアンボンドテendonを使う割には鉄筋もコンクリートも減らないからである。しかし、建設コストは材料の量だけで決まるものではない。種々の仮設費用や、施工上のメリットを考慮に入れないと本当の経済性を比較したことにならない。

アンボンドスラブの施工上のメリットとは：
従来の PC に比べて

- 特別な技能・経験を持った専門職方が不要
- 面倒なグラウト作業がないなど、品質管理が容易
- 端部の収まりは簡単
- 特に高強度のコンクリートを必要としない

RC に比べて

- 小梁用の型枠が不要
 - スラブ型枠の転用が早くできる
 - 大型型枠が適用しやすい
 - ある階のプレストレスを導入すれば直ちに上階のコンクリートが打設でき、工期短縮の可能性もある
- などであり、これらのメリットを巧みに生かすことによって、多くの実施例で、RC を凌ぐコストダウンに成功している。

(以下、次号『設計編』に続く)

【記：竹本 靖 (株) 大林組技術研究所】

会員増加についてのお願い

会員の数はその協会活動に反映するもので、増加すればそれだけ多くの便益が保証されています。現在の会員数は 2700 余名ですが、まだまだ開拓すべき分野が残されており、お知合いの方を一人でも多くご紹介ください。事務局へお申し出くだされば入会申込書をすぐお送りいたします。