

# 大型物流施設の構造システム合理化の研究

梅田正芳 \* 石村友乃 \*\* 高橋伸輔 \*\*\* 福井健洋 \*\*\*\*

物流施設の大型化が進み 10 万㎡を超える施設が多くなっています。これらの施設の設計における構造計画では、1500 ㎡毎の耐火区画、地盤状況、梁床のたわみを総合的に判断した合理的なスパン割付けや耐震性能と施工工期、仮設を考慮した構造体システム（柱鉄筋コンクリート梁鉄骨造、鉄骨造基礎梁、マットスラブ等の組合せ）の選択など多岐にわたる事項の検討が必要となります。ここでは、これらの項目をシミュレーションした結果から迅速に合理的な構造計画を立案している。

キーワード：物流倉庫、鉄骨造基礎梁、マットスラブ、柱 RC 梁 S 工法

## 1. はじめに

近年の生活様式変化による影響から、物流における物流量が増加している。これらの需要に対応するため、物流施設の新築物件が増加するとともに、大型化が進んでいる。当社でも 10 万㎡を超える大型物流施設の計画、設計を行う機会が増えている。これらの施設における建物の特徴を以下に示す。

- (a) 建物形状は 4 階建て程度が主流であり、保管スペース（以下、倉庫範囲）を中心とし、トラックによる搬入部（以下、トラックバース）およびトラックが走行する部分（以下、車路）を建物中央または片側に設置し、事務所、エレベーター、階段等を建物側部に配置することが多い。
- (b) 倉庫範囲の柱スパンは両方向とも 10～13m 程度の均等スパンとするが、事務所等を設置するスパンだけを一部変更することがある。
- (c) 倉庫範囲床は各階基準レベルとし、倉庫レベルとトラックの荷台が同レベルとなる様にトラックバースや車路は 1m 程度の段差を設ける。
- (d) 倉庫範囲は 1500 ㎡ (3～4 スパン) 毎に耐火区画壁で囲い、シャッター部により相互に通行ができる形状としている。
- (e) 当該施設は内陸部の沼部、河川近傍等や海岸部の埋立て地域等の比較的地盤性状がよくない地域に計画されることが多い。

これらの特徴を考慮するとともに、発注者より規定されている性能（倉庫範囲の梁床のたわみやひび割れ発生防止等）を確保することが必要となる。

物流施設の構造計画ではこれらの設計条件を総合的に考慮した合理的なスパン割付けや耐震性能および施工性（施工工期、仮設等）を考慮した構造システムの選択など多岐にわたる事項の検討が必要となる。

*	設計本部	構造設計部	
**	設計本部	構造設計部	構造第一グループ
***	設計本部	構造設計部	構造第一グループ
****	設計本部	構造設計部	構造第一グループ

以上から、本報告では物流施設を計画する際に検討する構造形式（柱鉄筋コンクリート梁鉄骨造、鉄骨造等）や構造技術（鉄骨基礎梁、マットスラブ等）およびその採用事例について示す。

以下、柱鉄筋コンクリート梁鉄骨造は柱 RC 梁 S 造、鉄骨造は S 造、コンクリート充填鋼管構造は CFT 造と記載する。

## 2. 構造形式、構造技術

### 2. 1 構造形式の選定

物流施設の構造は階数や施工性等により選定するが、大きく分類すると、S 造・柱 RC 梁 S 造・CFT 造に分けられる。

S 造は角型鋼管柱と鉄骨大梁によりフレームを構成している。S 造は靱性に優れ、ブレースと組合せて柱の地震力負担を減らすことにより、柱部材サイズの低減を図ることが可能である。鉄骨大梁端部の施工は現場溶接形式とブラケット形式があるが、主要構造部を工場で作成し、施工工期を短くできるブラケット形式が主流である。

柱 RC 梁 S 造は当社で開発した「熊谷式柱 RC 造梁 S 造」（ERI-K11002）を基本とした柱 RC 造、大梁 S 造であり、ふさぎプレートによる仕口部により応力伝達を行う形式である。柱を RC 造とすることで軸力だけでなく、S 造よりも RC 柱の剛性が高く、地震力を負担することによりブレースの数を減少させることが可能である。ただし、S 造に比較して柱断面が 1000×1000mm 程度となること、敷地条件や建物規模によりプレキャスト（以下、PCa）柱の揚重が不可能な場合はあと施工とする部分を設ける必要が生じ、施工工期が長くなるというデメリットがある。

CFT 造は CFT 柱、鉄骨造大梁による構造であり、S 造と比較して階数が多く、柱の軸力負担が大きい場合に採用する。鋼管柱とコンクリートの相互効果により鉄骨数量を減少させることが可能であるが、鋼管柱内にコンクリートを充填する作業が追加となるため、S 造よりも施工工期が長くなるというデメリットがある。

## 2.2 座屈拘束ブレースの採用

当社における既往の物件ではブレース構造を採用することにより、地震力の大半をブレースにて負担したため、必要以上の建物耐力を確保することとなっていた。また、ブレース廻りの架構に応力が集中するため、ブレース付帯柱直下に配した杭の軸力負担が大きくなっていた。

Fig.1 に示す様な座屈拘束ブレース(芯となる中心鋼材を鋼管とコンクリートで拘束し、座屈させずに安定的に塑性化させるブレース)を採用することで、必要な建物耐力で設計することが可能である。また、ブレース位置を上下階で異なるスパンに設置することにより支点反力の引抜力を分散させ、杭基礎への影響を低減している。



Fig.1 座屈拘束ブレース

倉庫範囲は1500㎡毎に耐火区画により区画壁が設けられる。座屈拘束ブレースを区画壁の位置、並びに外壁に配置することで倉庫の機能を阻害することなく、建物にねじれ等が生じない配置が可能となっている。Fig.2に座屈拘束ブレースの配置を示す。図中、太線がブレース設置位置である。

区画壁に囲まれるグリッドは3×4スパンが一般的であり、グリッド中央スパンにフォークリフトの動線となるシャッターを配置し、グリッド両端部スパンにブレースを配置している。

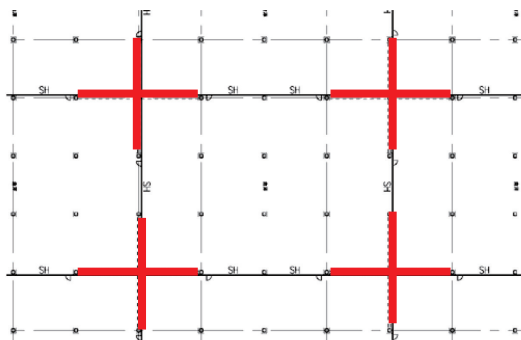


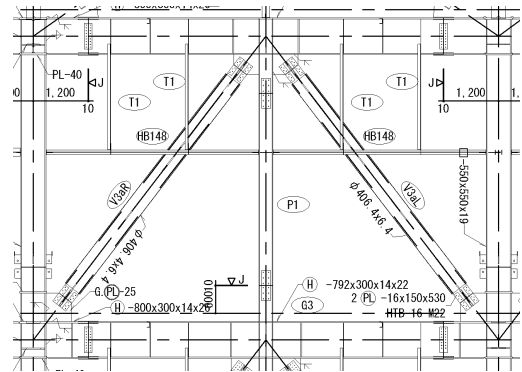
Fig.2 区画グリッドとブレース配置

ブレースの数が不足する場合はブレース仕様を上げるか外壁面に設置するブレースの数を増加させる必要が生じる。外壁面に設置するブレースの数を追加した場合は、建物外周部の剛性が高くなり、当該フレームの負担地震力が増加することとなる。スラブや屋根面は建物外周部まで地震力を伝達可能な面内せん断力の確保または水平ブレースの設置が必要となる。

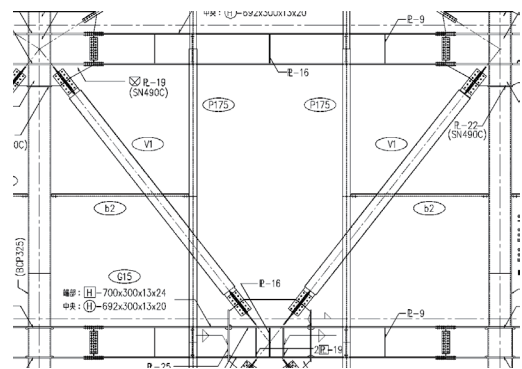
建物外周部のブレースが増加することで、杭基礎や柱脚の引抜力が増加することとなる。

最近では倉庫範囲のブレース数を追加する場合はFig.3に示す様なK型、V型ブレースを採用することにより、より多くのブレースを配置することが可能である。ブレース形状によってはブレース構面にも開口設置が可能である。

1階ブレースをV型にすることにより、基礎梁との接合箇所を低減するとともに、納まり形状が複雑となる柱脚部の接合をなくすることが可能である。



(a)K型



(b)V型

Fig.3 ブレース形状

近年はALC版の需要増加により、施工上の制約(材料調達や労務等の問題)から外壁に金属断熱サイドイッチパネルを使用することが多くなっており、外壁を支持するタテ胴縁と座屈拘束ブレースや大梁との納まり検討が必要である。

### 2.3 仕口部における十字プレート補強の採用

柱に角型鋼管を採用する場合は、柱スキンプレートに作用する面外方向の応力を処理できないため、通常の建物では大梁ウェブの曲げ耐力を考慮していない。

Fig.4 に示す角型鋼管柱仕口内に十字プレートを溶接することで、十字プレートを介して大梁ウェブに作用する応力を伝達させることが可能となる。そのため、大梁ウェブ曲げ耐力を考慮することにより、大梁部材サイズを低減することが可能である。

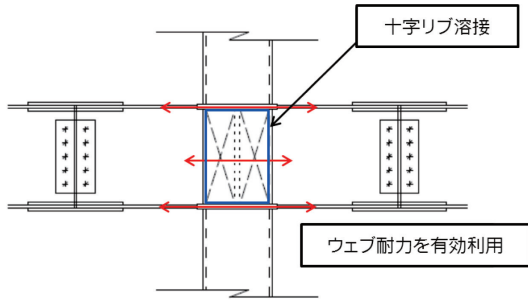


Fig. 4 柱仕口部での応力伝達

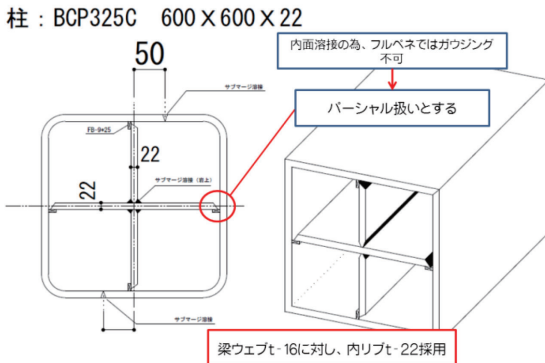


Fig. 5 十字プレート補強要領

十字プレート補強を行った仕口部のディテールを Fig.5 に示す。十字プレートによる補強は以下に示す施工上の制約があり、採用するには施工性の検討が必要である。

- a) 柱仕口部に十字プレートを挿入した上で角型鋼管とサブマージ溶接するため、角型鋼管柱との間に□-200 mm x200 mm以上の作業空間が必要である。柱部材サイズは□-550 mm x550 mm以上が必要となる。また、専用の溶接機械での溶接が必要となるため、当該加工が可能な工場に限定される。
- b) 十字プレートの上、は柱ダイヤフラム溶接による裏当て板と干渉するため、ウェブの上下 100 mm程度のウェブ耐力は低減する必要がある。X、Y方向の大梁成が異なる場合は、大梁ウェブ耐力を低減する範囲が増加するため、X、Y方向の大梁成が同じでないと効果は少なくなる。

- c) 大梁ウェブ耐力を見込むことにより、大梁のサイズを低減することは可能ではあるが、補強プレートの材料費・加工によるコスト増加を考慮すると大梁成が 800mm 以上の場合に効果があると考えられる。

### 2.4 小梁の割付形状

建物全体の鉄骨数量の約 2 割以上が小梁によるものであり、小梁の鉄骨数量を合理化することが建物全体の鉄骨数量に大きく影響する。

柱スパンが決定した段階で想定する小梁割付形状毎に鉄骨数量を比較し、鉄骨数量が少ない形状を選定する。

当社における既往の物件では Fig.6 に示す市松配置を採用していた。市松配置は床荷重を大梁に均等に伝達することが可能である。但し、スラブの主筋方向がスパン毎に異なるため、スラブ配筋が困難となる。EV シャフト等では大梁の必要補剛数を満足することが困難となる等、デメリットがあった。

最近の傾向として、発注者が小梁の検討方法を指定することが増加している。小梁のたわみに対する性能を確保するため、Fig.7 に示す一方向配置による小梁配置を採用している。

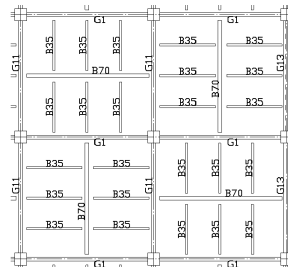


Fig. 6 市松模様による小梁配置

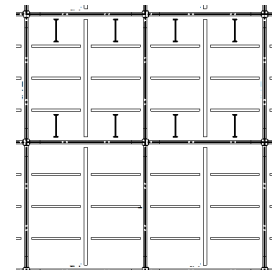


Fig. 7 一方向による小梁配置

小梁一方向配置の場合、一方向に小梁を配置するため、X、Y方向どちらかの大梁に長期荷重が大きく作用することとなる。長期荷重があまり作用しない大梁は部材サイズを低減することが可能である。スラブ主筋が片方向に統一されるため、スラブ配筋の施工性が向上する。

小梁のたわみが大きい場合は一次小梁端部を大梁と剛接合することにより、床たわみや床ひび割れに効果があると考えられる。

小梁配置の決定に際して鉄骨数量および施工性の比較をした結果を Fig.8 に示す。

	CASE1			CASE2			CASE3		
形状									
背梁	全断面	H-792x300x14x22	SM490A	中央	SH-800x250x14x22	SM490A	中央	H-692x300x13x20	SM490A
				端部	SH-800x250x14x22	SN490B	端部	H-700x300x13x24	SN490B
孫梁	全断面	H-346x174x6x9	SS400	全断面	H-346x174x6x9	SS400	全断面	H-346x174x6x9	SS400
重量	母材のみの重量W/A= 100			母材のみの重量W/A= 95			母材のみの重量W/A= 93		
JOINT 考慮	●ピン →HTB、SPL、溶接量DOWN W/A= 100			◆剛 →HTB、SPL、溶接量UP ※背梁→15%UPするためW/A= 103			◆剛 →HTB、SPL、溶接量UP ※背梁→15%UPするためW/A= 101		

Fig. 8 小梁配置による鉄骨数量比較

母材のみで鉄骨数量を比較した場合、CASE3に示す小梁割付形状が最も効率が良い配置といえる。但し、両端を剛接合としているCASE2、CASE3は、CASE1に比べて鉄骨接合部のスプライスプレートや高力ボルト(以下、HTB)および溶接量が増加するためCASE1が最も合理的である。

なお、小梁を剛接合とする場合、溶接性の制約から大梁と小梁の段差は150mm以上とする必要があるため、小梁、小梁部材サイズを選定する際に制約が生ずる。

### 2.5 床スラブ工法の選定

物流施設の積載荷重は床用で12~15kN/m<sup>2</sup>と、一般的な建物に比較して数倍の重量となっている。そのため、Fig. 6に示す鉄筋付きデッキプレートによるスラブを採用し、小梁間隔をできる限り広くする工法を採用している。

床スラブの補強により、火災時に二次小梁が脱落した場合でもスラブが脱落しないことを確認することで、当該小梁を無耐火被覆としている。

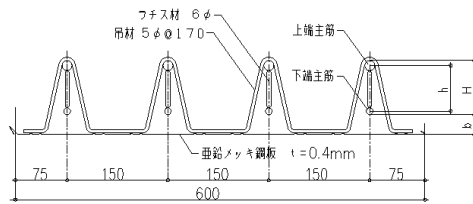


Fig. 9 デッキスラブ工法

### 2.6 鉄骨造基礎梁の採用

大型物流倉庫が計画される土地は軟弱地盤であることが多く、1階床スラブ形式に下部を地盤改良した土間スラブを採用することが困難な場合が多い。

倉庫範囲はトラックバースとの床レベル差により、外周地盤レベルより1m程度上がっていることが一般的であり、1階床スラブ形式に土間スラブを採用した場合は土間スラブ下部を地盤改良して埋戻す必要性が生じる。

一般的な鉄筋コンクリート(以下、RC)基礎梁を使用し、構造スラブを採用した場合には、土間スラブ形式と

比較すると、スラブ下部の地盤改良は減少するが、掘削土量や基礎大梁、小梁が増加したことによる、型枠・コンクリート・鉄筋の増加が大きく、施工工期の短縮も困難である。

以上から、大型物流施設では外周地盤面から1m程度上がっている倉庫範囲に鉄骨造基礎梁の採用を提案している。鉄骨造基礎梁の採用範囲をFig. 10に示す。

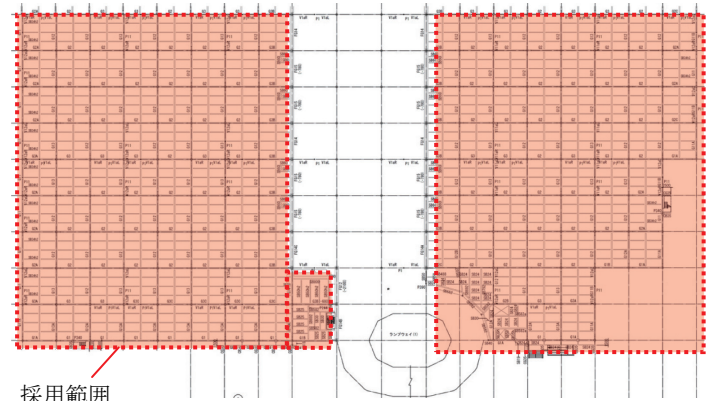


Fig. 10 S造基礎梁の採用範囲

これにより上階と同様の小梁割付、スラブ工法を採用することが、建物重量減少に伴う杭仕様の合理化を図ることが可能となる。

1階柱脚が埋込柱脚となるため、柱部材サイズ低減および露出型固定柱脚の削減が可能となり、施工性やコストに有利となっている。杭頭曲げは基礎フーチングのコンクリート支圧により鉄骨造基礎梁に伝達させている。

基礎梁をS造とする場合は、土に接しない範囲のみに限定し、溶融亜鉛メッキによる適切な防錆処理を施している。土に接する範囲はRC造基礎梁を採用するか施工性を考慮して、鉄骨鉄筋コンクリート(以下、SRC造)基礎梁を採用している。

鉄骨造基礎梁を採用した場合の倉庫範囲および建物外周部における柱脚ディテールをFig. 11, 12に示す。

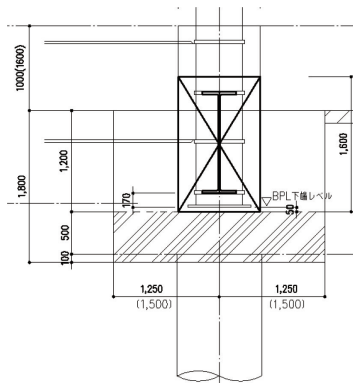


Fig. 11 倉庫範囲の柱脚部ディテール

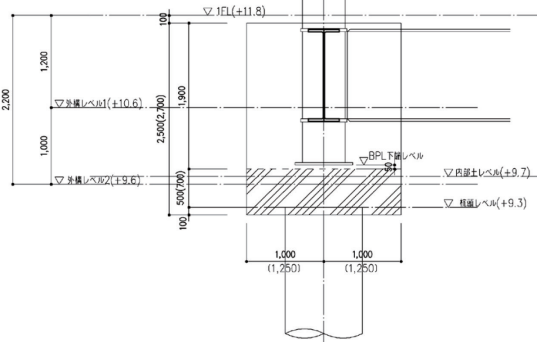


Fig. 12 外周部の柱脚部ディテール

## 2. 7 マットスラブ基礎の採用

建物中央等に設置される1階車路、トラックバース部は施工性を考慮し、基礎梁とスラブを一体としたマットスラブを採用している。

杭基礎を柱直下およびマットスラブ中央に配し、長期荷重を分散することで柱直下部のマットスラブに応力が集中しない形式としている。

マットスラブの採用範囲を Fig. 13 に示す。

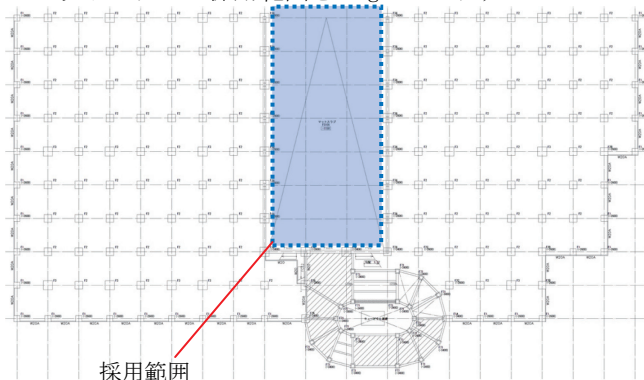


Fig. 13 マットスラブの採用範囲

## 3. 物流倉庫による採用事例

### 3. 1 S造の採用事例

本事例は、建築面積約4万㎡、延べ床面積15万㎡、地上4階建ての物流倉庫である。1～3階について中央部にトラックバース・車路を配置し、環状のランプウェイを倉庫部と一体として計画した。

架構形式はX,Y方向共にブレース付ラーメン構造とし、ブレースは2.2で紹介した座屈拘束ブレースを使用している。ブレースは全てK型配置としている。

本物件は軟弱地盤であり、1)土間スラブを採用することにより不同沈下の懸念があったこと、2)敷地面積が広く、構造スラブによるRC造基礎梁を採用することで型枠・残土が大量に発生してしまうこと、3)施工工期が長くなること等のデメリットがあったため、基礎梁をS造とし、1階スラブからデッキスラブを採用した。

1階中央車路・トラックバースは2.7で紹介したマットスラブを採用し、トラックバースと倉庫の境界はSRC梁とした。

鉄骨造基礎梁の接合部は超高力ボルト(以下、SHTB)を使用し、ボルト本数の低減やスプライスプレートの低減を図った。接合部を基礎フーチング内とすることで埋込柱脚部の鉄骨をコンクリート内に納めることで、溶融亜鉛メッキ範囲の削減を図った。

鉄骨造基礎梁の柱梁接合部には2.3で紹介した十字プレートに鋼管内に設置することでウェブの曲げ耐力を考慮している。よって、鉄骨造基礎梁成を1200mmとし、掘削土量の低減を図っている。

上部構造の小梁を一方向配置とすることにより、X方向大梁成を800mm、Y方向大梁成を600mmとしている。

外壁は金属断熱サンドイッチパネルを、内壁はALC版を採用している。

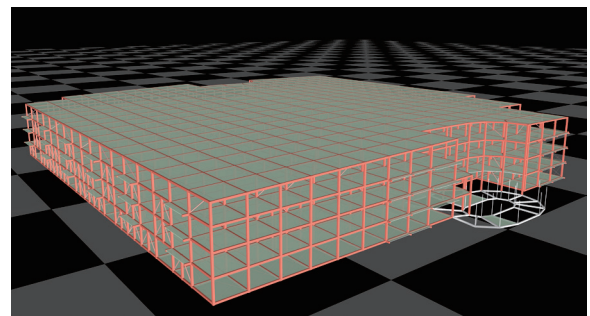


Fig. 14(a) S造採用事例のパース

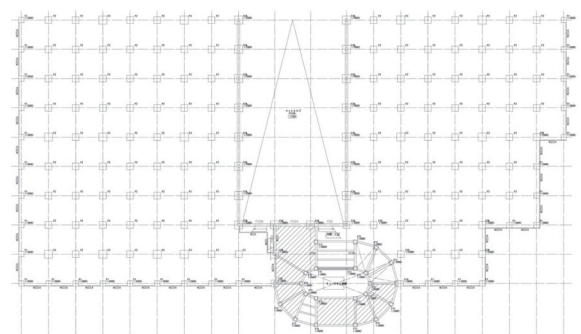


Fig. 14(b) S造採用事例の基礎伏図

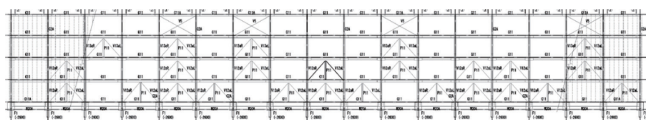


Fig. 14(c) S造採用事例の代表軸組図

### 3. 2 柱RC梁S造の採用事例

本事例は、建築面積約 9 千㎡、延べ床面積約 4 万㎡、地上5階建ての物流倉庫である。1階のみにトラックバースを配置する計画としている。

架構形式はX,Y方向共にブレース付ラーメン構造とし、ブレースは座屈拘束ブレースを使用している。ブレースは片流れ形状としている。

1~4階までを柱RC梁S造とし、最上階は柱梁共にS造としている。

外壁は金属断熱サンドイッチパネルを、内壁はALC版を採用している。

上部構造の柱梁接合部は全てふさぎ板形式とし、小梁を市松配置とすることでX,Y方向ともに大梁成を揃える計画とした。

1階スラブは土間スラブとし、下部には沈下防止を目的とした、ボックス形地盤改良を施している。

パース

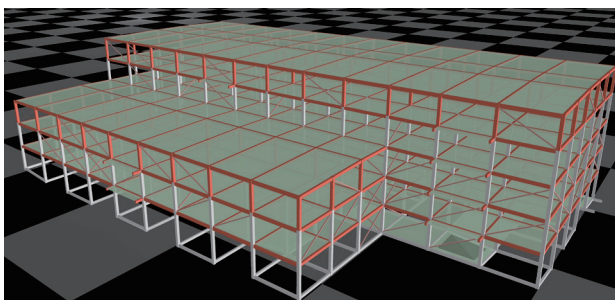


Fig. 15(a) 柱RC梁S造採用事例のパース

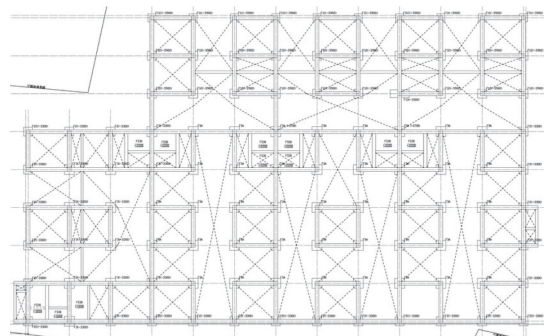


Fig. 15(b) 柱RC梁S造採用事例の基礎伏図

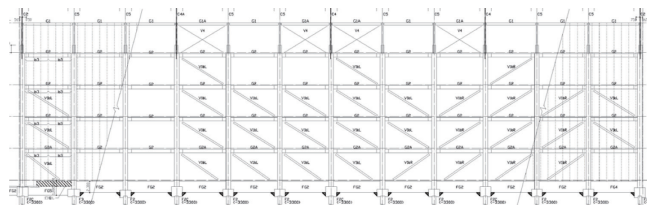


Fig. 15(c) 柱RC梁S造採用事例の軸組図

## 4. まとめ

大型物流施設における構造システムは敷地条件に合った構造形式の採用、構造部材の合理化、施工工期の短縮を目的とし、合理的な設計を行っている。今後は階数増加に対応できる様に免震、制震工法を適用した構造部材の合理化、柱RC梁S造における鉄骨造基礎梁の採用、上部構造における柱梁接合部への十字プレート適用、梁部材を最も合理化出来るスパン割付等を研究することで大型物流施設における構造システムの設計手法を確立させたいと考えている。

## Research on rationalization of structural system of large physical distribution facilities

Masayoshi UMEDA, Tomono ISHIMURA, Shinsuke TAKAHASHI and Takehiro FUKUI

### Abstract

Accompany with the enlargement of physical distribution facilities, the number of facilities with site area exceeding 100,000 m<sup>2</sup> is increasing. In the structural planning process while designing these facilities, a wide variety of parameters must be studied, such as reasonable span allocation, earthquake resistance performance and construction period, which are based on the comprehensive judgment of the fire resisting divisions, ground conditions, and deflections of the beam slab in every 1,500 m<sup>2</sup>; as well as the selection of structure considering temporary construction (combination of column-reinforced concrete beam steel frame, steel frame foundation beam, mat slab, etc.). In this study, a reasonable structural plan is proposed and estimated forthwith based on the results of simulating these parameters above.

Keywords: Physical distribution facilities, Steel frame foundation beam, Mat slab,